

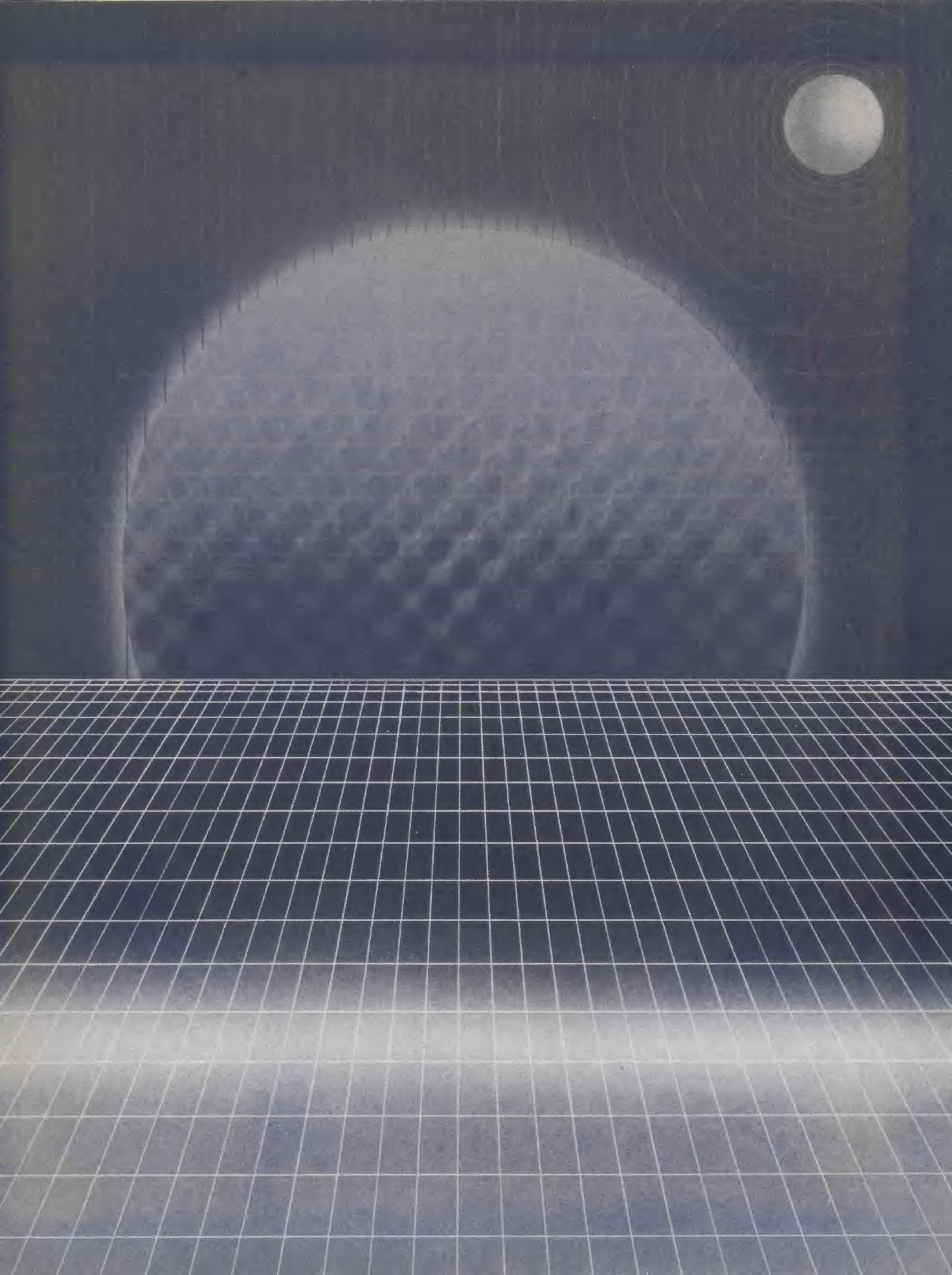
Ciencia y Técnica



9
N.º 1
1981

ALVAT





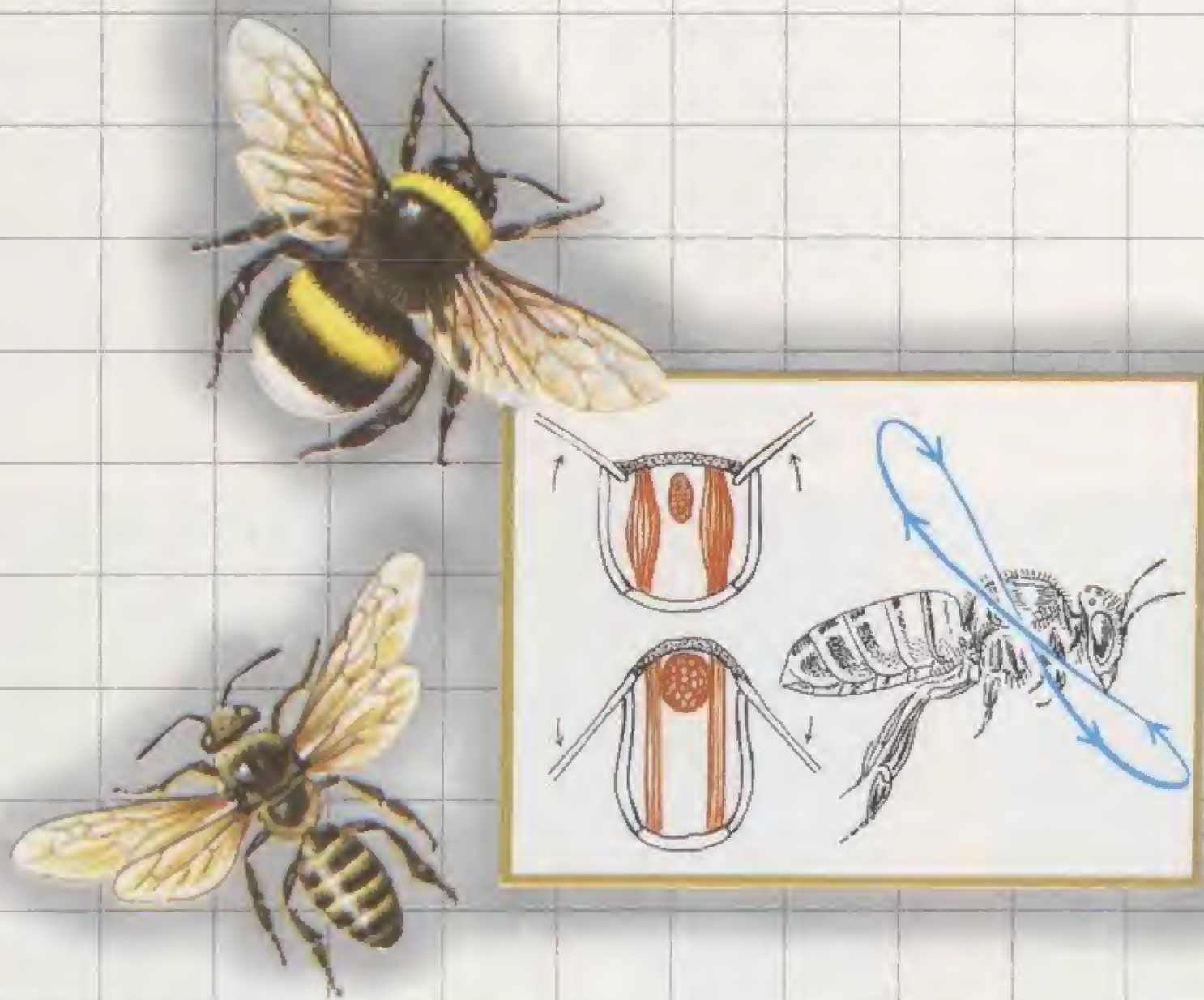
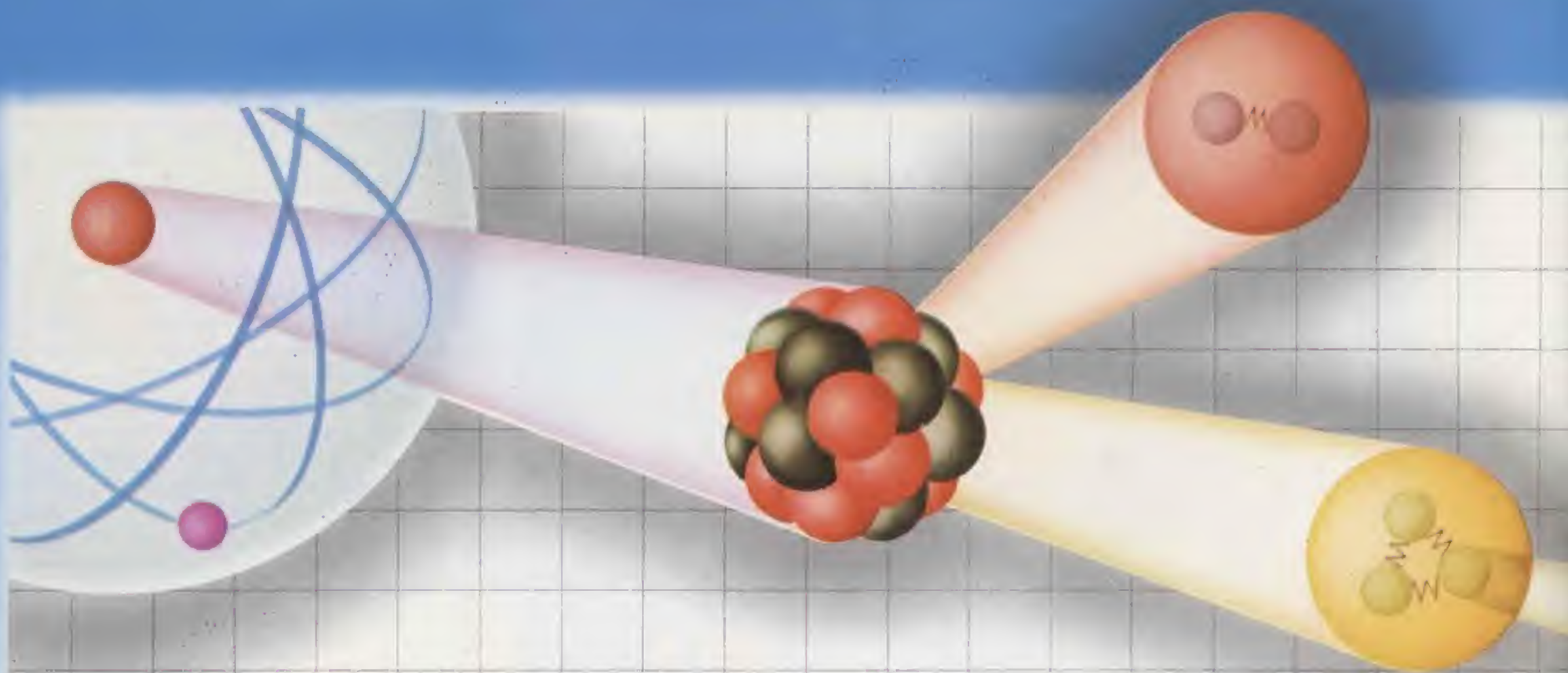
EXLIBRIS Scan Digit



The Doctor

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



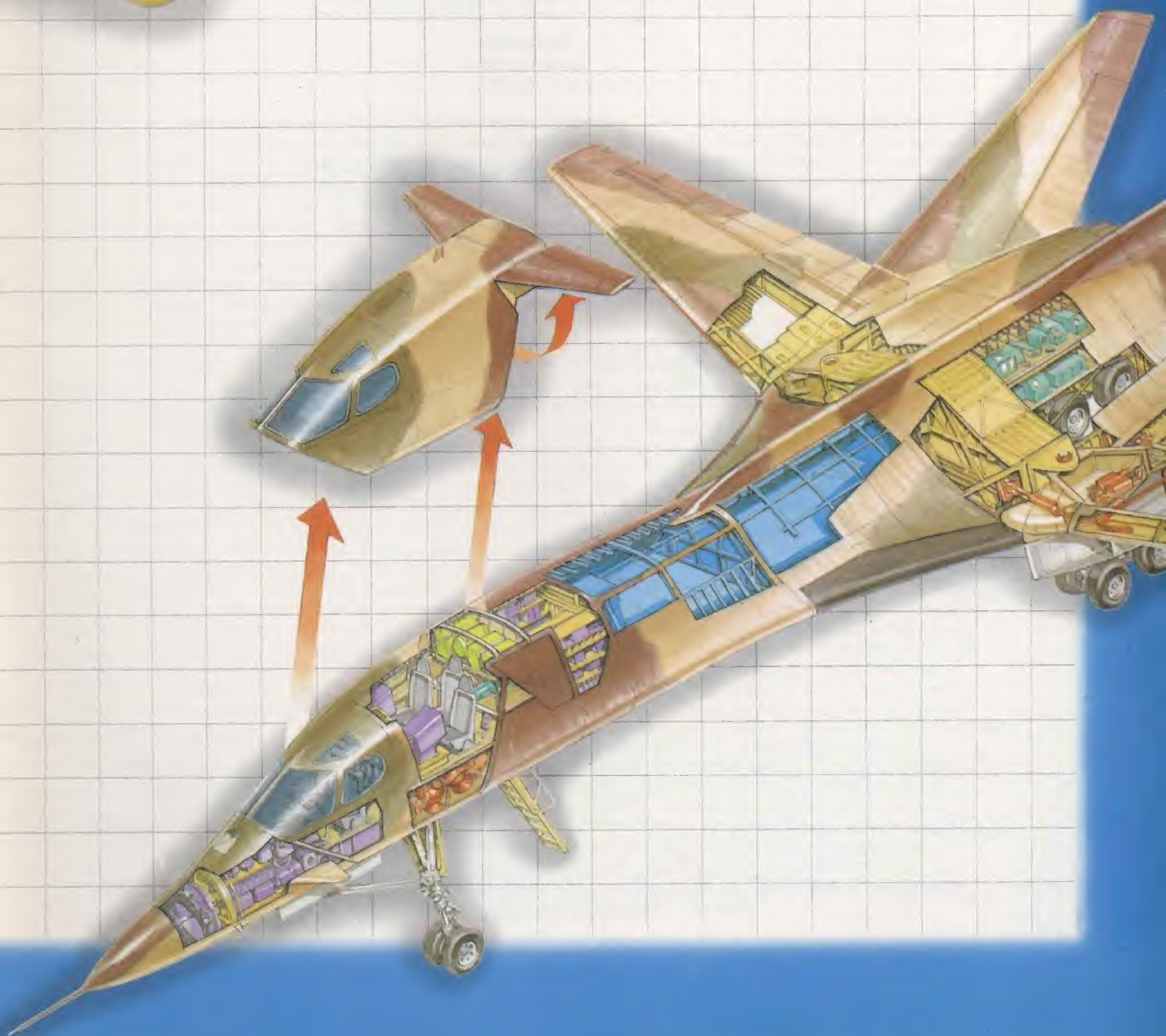
Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 47, 08029 Barcelona, España

© Salvat Editores, S.A. 1987
© Gruppo Editoriale Fabbri

Impresión:
Gráficas Estella, S.A.
Estella, Navarra, 1987
Depósito Legal: NA. 125 - 1984
ISBN: 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-4499-7 (Volumen 9)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann – Donald Antrim – Timothy Bay – Trudy Bell – Shelley Berc – David Black –
Diane Blanchard – Bonnie Borenstein – Judith Brister – Jean Brody – Serena Cha – Robert Crease – Peter
Cunningham – Dr. Rhodes Fairbridge – Marguerite Feitlitz – Corinna Gardner – Barbara George –
Ellen Goldensohn – Jean Grasso – Fitz Patrick – Peter Gyallay-Pap – Steve Hall – James Harris –
Doug Henwood – David Herndon – Paul Hoeffel – Andrea Kantor – Jonathan Katz – Jim Keegan – Philippa Keil
– Percy Knauth – Bary Koffler – Barbara Kopit – Paulette Licitra – Becky London – Deborah Lumpee –
Charles Mann – Robert MacVicar – Dale McAdoo – Fred Nadis – Joy Nager – Peter Oberlink –
Robert Salter – Sandra Sharp – George Shea – Howard Smith – Zev Trachtenberg – Vieri Tucci – Edit Emili
Villareal – Veronica Visser – Graham Yost – Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
César Casquet, *Universidad Complutense*
Víctor Casquet, *Licenciado en Astrofísica*
Juan José Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Isabel Espinel, *Licenciada en Ciencias Biológicas*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Enrique González del Pozo, *Licenciado en Ciencias Físicas*
Ildefonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Pedro L. Martín, *Ingeniero de Caminos*
Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
Ignacio Meléndez, *Universidad Complutense*
M.^a Rosa Miracle, *Universidad de Valencia*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
Gerardo Pastor, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Germán Rodríguez Corral, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
M.^a Jesús Sáinz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Magna Santos, *Instituto «Daza de Valdés» del C.S.I.C.*
Pedro T. Sanz, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*

Consejo de Redacción

Dr. Andrew Abrahams - *Bedford Stuyvescent Hospital, N. Y.* — Nancy Akre - *Cooper-Hewitt Museum, N. Y.*
— Dr. Neil Baggett - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* — Dr. Thomas J. Barnard - *Columbia Presbyterian Hospital, N. Y.* — William Bates - *Computer consultant, N. Y.* — Terry Belanger - *Columbia University, N. Y.* — Roberto Brambilla - *Institute for Environmental Action, N. Y.* — Oscar A. Campa - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* — Dr. A.L. Carsten - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* — Dr. Lars Cederqvist - *Gynecologist, N. Y.* — Carroll Cline - *Lighting consultant, N. Y.* — Dr. Paul Comer - *Anaesthesiologist, Montana* — John Dalton - *Modelworks, Inc, N. Y.* — David Devaleria - *Columbia University, N. Y.* — Ken Distler - *Ademco, Long Island, N. Y.* — Dr. Janice Dodds - *Columbia University, N. Y.* — David Dooling - *Huntsville Times, Huntsville, Alabama* — Lt. Robert Donovan - *U.S. Navy, N. Y.* — Prof. Patricia Dudley - *Barnard College, N. Y.* — Dr. Rene Eastin - *Long Island University, N. Y.* — Prof. Rhodes Fairbridge - *Columbia University, N. Y.* — Dr. Gerald Feinberg - *Columbia University, N. Y.* — Robert Feitlowitz - *Textiles consultant, N. Y.* — Leonard Feldman - *Leonard Feldman Electronic Lab, N. Y.* — John Fitch - *Automobile consultant, N. Y.* — Dr. Richard Fitzpatrick - *Bell Laboratories, N. Y.* — Dr. Robert Fried - *Psychiatrist, N. Y.* — Sara Friedman - *Author, N. Y.* — Dr. Michael Garvey - *Animal Medical Center, N. Y.* — Prof. Allan Gilbert - *Columbia University, N. Y.* — Dr. John Gmeiner - *Nebraska Psychiatric Institute, Nebraska* — Eugene Grisanti - *International Flavors and Fragrances Inc, N. Y.* — Annabelle Harris - *International Paper, N. Y.* — Kevin Hayes - *Typesetter, N. Y.* — Norman Hollyn - *Film editor, N. Y.* — Dr. Jonathan House - *Doctor, N. Y.* — Dr. Elizabeth Kellner - *Nutritionist, N. Y.* — Prof. Ellis Kolchin - *Columbia University, N. Y.* — Prof. Martin Kramer - *City College of New York, N. Y.* — T. Kuroiwa - *Japan Smoking Articles Corporated Assoc., Tokyo* — Prof. Charles Larmore - *Columbia University, N. Y.* — Dr. Warren Levin - *World Health Medical Grova, N. Y.* — Janet Loughridge - *American Health Foundation, N. Y.* — Dr. William Love - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* — Dr. John Maisey - *American Museum of Natural History, N. Y.* — Alan Macher - *Information Systems Group, N. Y.* — Dr. James Macpherson - *Engineering consultant, Virginia* — Eli Martin - *Architect, N. Y.* — Derrick McDowell - *Science consultant, N. Y.* — Elvin McDonald - *Author, N. Y.* — Dr. Kenneth Meisler - *Preventive and Sports Medical Center, N. Y.* — Jim Marchese - *Photographer, N. Y.* — Dr. Judith Molnar - *Biologist, N. Y.* — Dr. Peri Namerov - *Center for Population and Family Health, N. Y.* — Lt. Joseph Nimmich - *U.S. Coast Guard, N. Y.* — Dr. Ruth Nussenzweig - *NYU Medical Center, N. Y.* — Dom Perciballi - *Emergency medical technician, N. Y.* — Felix Peruggi - *Fireworks by Grucci, N. Y.* — Alice Petropoulos - *National Council on Alcoholism, N. Y.* — Prof. James Polshek - *Columbia University, N. Y.* — David Pope - *Editor consultant, Connecticut* — Walter Reed - *National Automatic Merchandising Association, Illinois* — Dr. Ronald Rieder - *Psychiatrist, N. Y.* — Robert Robertson - *Oceaneering, Inc, Texas* — James Rosenthal - *Magnet Paint and Varnish, N. Y.* — Joe Scherer - *Cinema Interface, N. Y.* — Dr. Ralph Shutt - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* — Prof. Philip Smith - *Columbia University, N. Y.* — Betty Sprigg - *Pentagon, Washington, D. C.* — Timothy Steinhoff - *Gardening consultant, N. Y.* — D. William Strohmeier - *Ad Astra Communications, Connecticut* — Dr. Joseph Thach - *Pentagon, Washington, D. C.* — Peter Tischbein - *U.S. Army Corps of Engineers, N. Y.* — Joe Trammell - *NAVASYNC Sound, N. Y.* — Debbie Triantaphyllou - *MITER Inc.* — K.C. Tung - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* — Prof. David Tyler - *Columbia University, N. Y.* — James Walkup - *New School for Social Research, N. Y.* — Walter Washko - *University of Connecticut, Connecticut* — Aura Weinstein - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* — Lilian Yung - *Columbia University, N. Y.* —

Mapas y proyecciones

Cuando se observa un mapa geográfico, se tiene la impresión de estar viendo una representación exacta del mundo o de parte de él. Mientras que las fotografías tomadas por satélites dan una imagen más real de cómo es el verdadero aspecto de la Tierra, pero son confusas en los detalles, los mapas, por el contrario, organizan sistemática y gráficamente las informaciones sobre la geografía mediante colores, símbolos, palabras y líneas, con el fin de que puedan resultar más inteligibles.

Por ejemplo, representando los límites y contornos en negro, un *mapa político* puede indicar los confines jurisdiccionales entre las naciones, las regiones, las provincias, los municipios, los distritos universitarios, las circunscripciones electorales y demás divisiones análogas. Utilizando líneas y colores asociados a altitudes específicas, un *mapa topográfico* puede sugerir visualmente las características de relieve del terreno. Con símbolos normalizados, como flechas (dirección del viento) e isobaras (líneas que unen puntos que tienen la misma presión atmosférica), un *mapa climático* —un ejemplo de mapa científico— describe los fenómenos naturales. Por su parte, un *mapa celeste* muestra una representación gráfica de las estrellas. Con puntos de referencia y coordenadas, una *carta de navegación* ayuda a los navegantes a llevar a cabo sus recorridos en mar abierto. Estos no son más que algunos ejemplos de los muchos tipos de mapas geográficos que se elaboran con distintos fines.

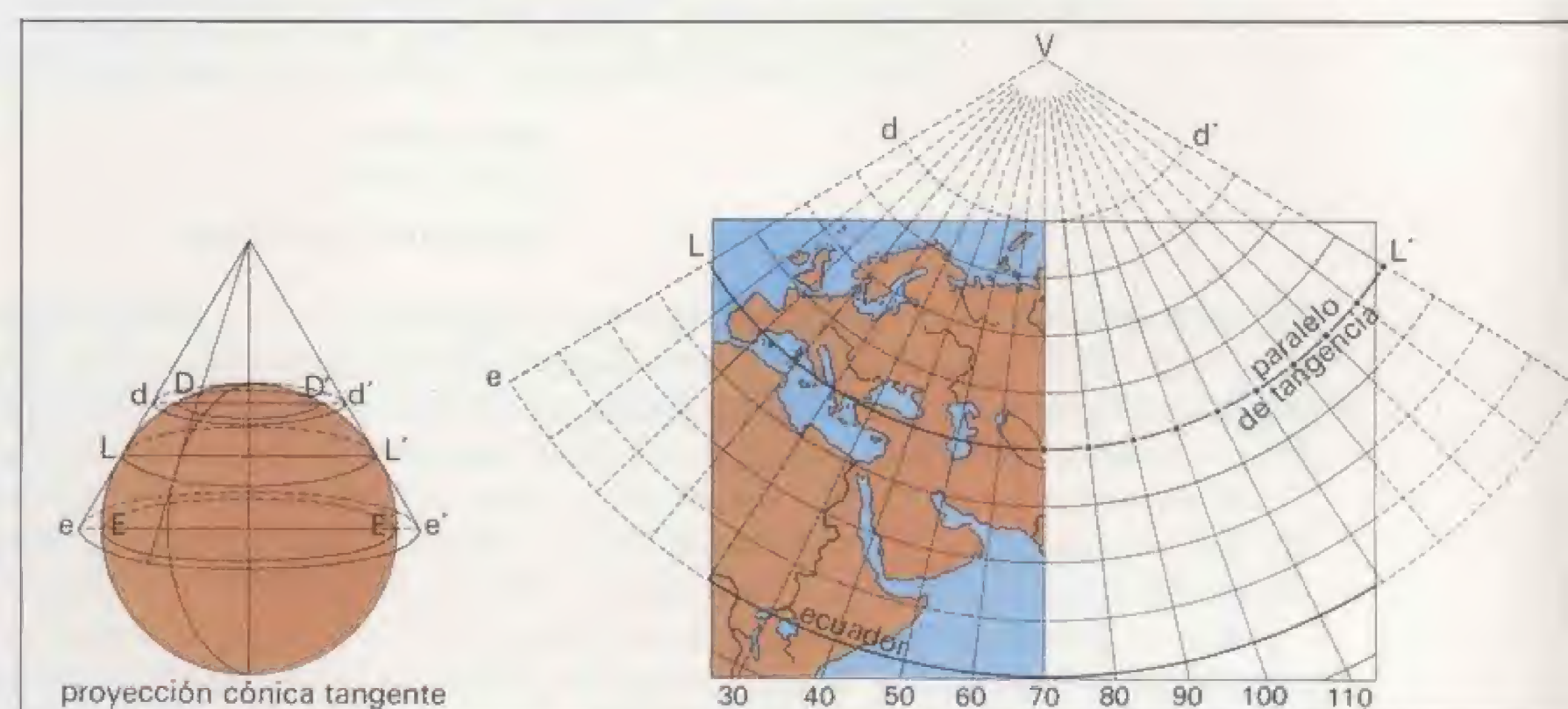
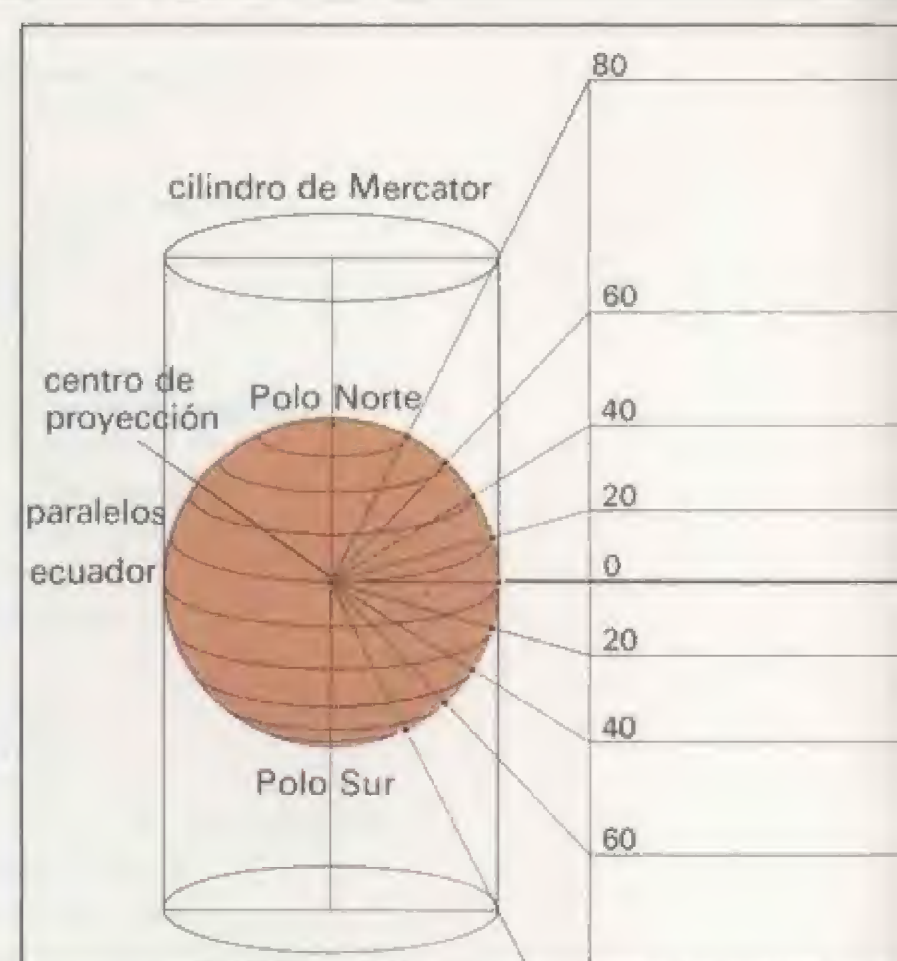
Dibujo a escala Todos los mapas geográficos están realizados a escala, es decir, son versiones miniaturizadas de las zonas que reproducen. Normalmente, la escala se expresa como una relación numérica: por ejemplo, 1:1.000.000. Esto significa que una unidad de longitud sobre el mapa corresponde en la realidad a una longitud un millón de veces mayor que la unidad (por ejemplo, en este caso, 1 cm representa 10 km).

Los mapas que cubren grandes extensiones de la superficie se conocen como mapas a *pequeña escala*, mientras que los que muestran una mayor cantidad de detalles de un área más reducida se llaman mapas a *gran escala*.

En el comienzo de la historia de la Cartografía, los estudiosos se dieron cuenta de que la Tierra era esférica, y esta teoría proporcionó el fundamento matemático para la Cartografía, arte y ciencia de la elaboración de mapas. Una esfera se puede dividir en determinados sectores geométricos mediante un retículo. Sus líneas, *meridianos* y *paralelos*, son la base de todos los mapas, tanto de los que representan una parte pequeña del Globo como de los que son la representación de una región extensa. Los meridianos son círculos que pasan por los polos (se les puede considerar como las intersecciones de la propia Tierra con planos que pasan por su eje); los paralelos son círculos que cortan

Uno de los primeros métodos de cartografía de la superficie terrestre consiste en dibujar continentes, mares e islas sobre un globo esférico. Pero esto no se presta para la representación de mapas de detalle y además no es un sistema fácilmente transportable. Todos los métodos cartográficos se basan en el principio de imaginar el mapa trazado sobre un globo esférico y sucesivamente proyectar —desde un punto del propio mapa sobre un bastidor plano, cilíndrico o cónico— superficies desarrollables. El

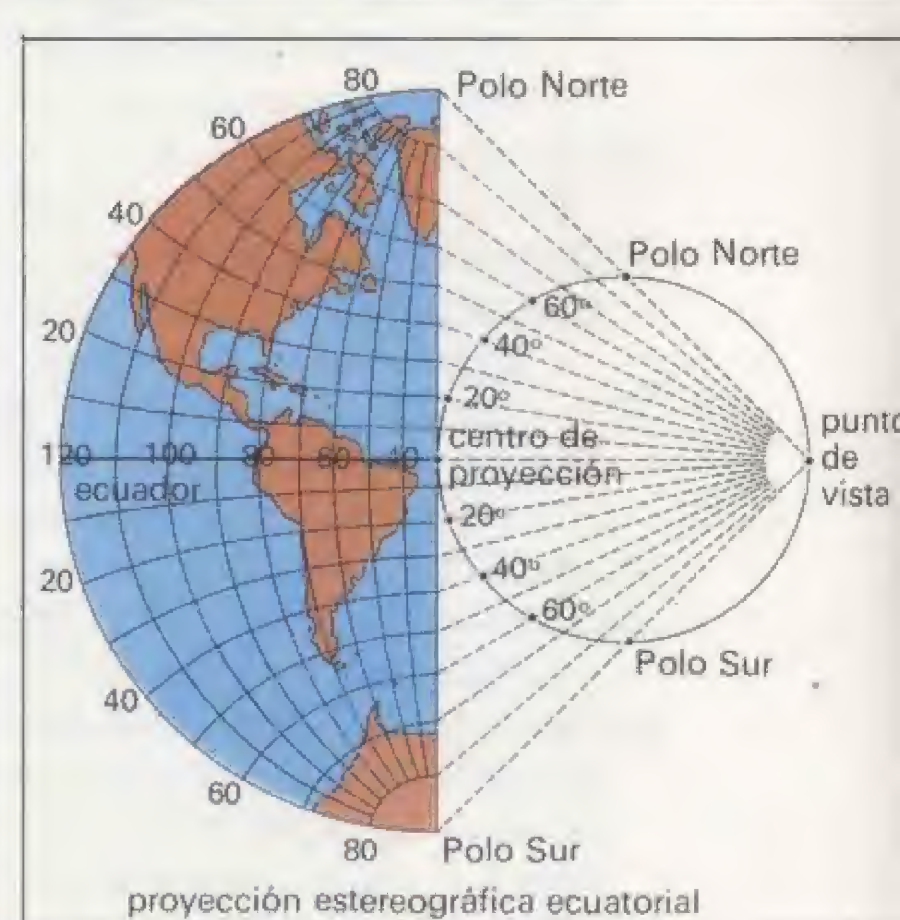
método ideado por Mercator consiste en proyectar desde el centro los puntos de la esfera sobre una superficie cilíndrica circunscrita a ella y tangente a lo largo del ecuador. Tal proyección deforma las zonas polares, aumentándolas. Son, por otro lado, mapas adaptados a la navegación marítima y aérea en recorridos cortos, ya que en este caso la ruta une dos puntos entre sí, cortando los meridianos siempre bajo el mismo ángulo. En cualquier caso, los Polos no se pueden representar en los mapas.



perpendicularmente a los meridianos (puede considerárseles como intersecciones de la Tierra con planos perpendiculares a su eje).

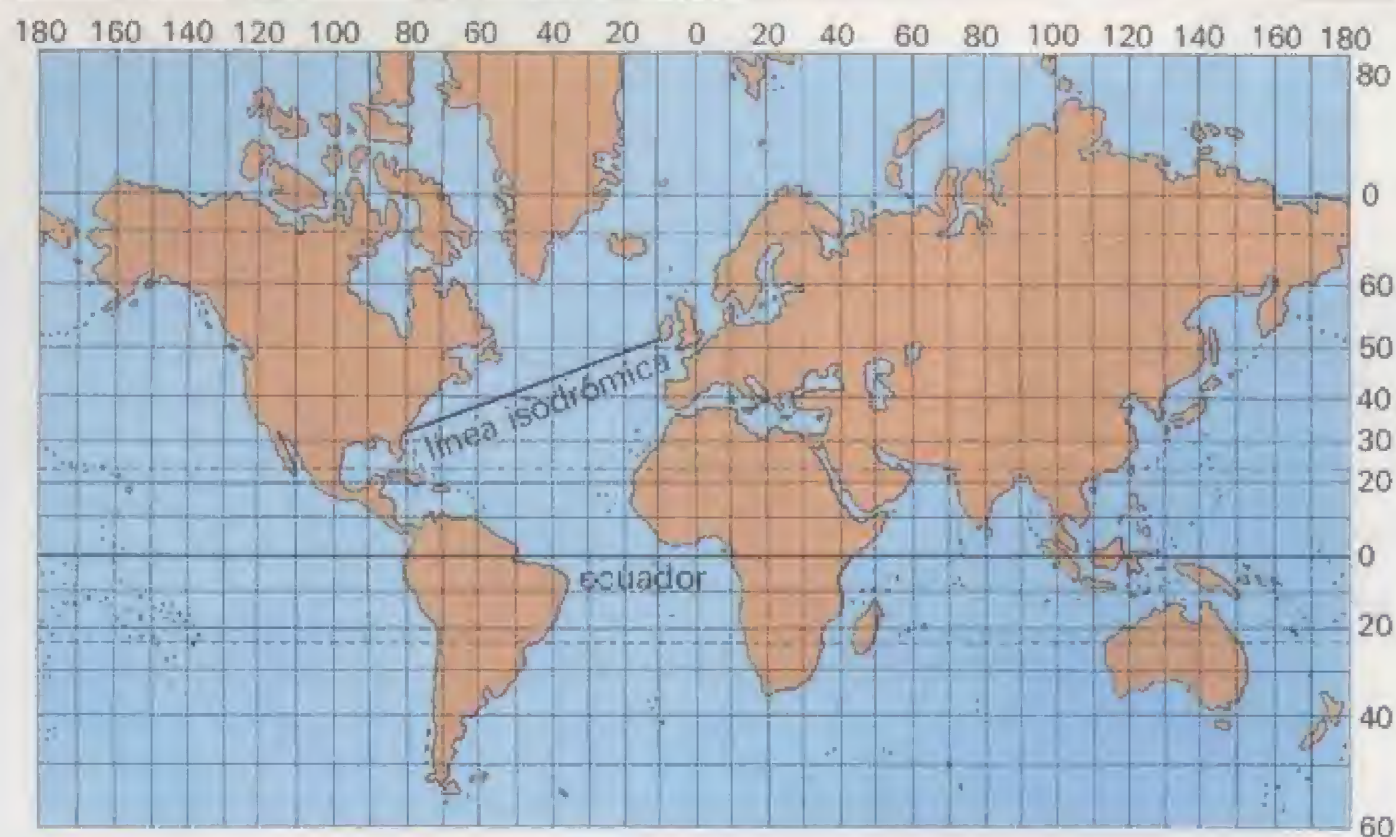
El sistema del retículo funciona del siguiente modo: dado que la Tierra es una esfera, es posible trazar —rodeándola— una circunferencia equidistante de los Polos, de modo que quede dividida en dos partes iguales. Los antiguos llamaron a esta circunferencia *ecuador*. Se trata, precisamente, del único paralelo que es un círculo máximo. El ecuador, como toda circunferencia, puede ser dividido en 360 grados. Un determinado punto del ecuador, por convenio internacional, señala la posición del *meridiano fundamental*, o *meridiano cero*. Se trata de una línea que va del Polo Norte al Polo Sur, pasando por el observatorio de Greenwich, en el Reino Unido, e interseca perpendicularmente el ecuador a los 0 grados.

De los grados a los retículos Cada grado al este o al oeste del meridiano fundamental señala una medida de longitud, hasta 180° E ó 180° O. Por ejemplo, el meridiano 9° este va del Polo Norte al Polo Sur y pasa por Génova. Cada grado de cada círculo meridiano al norte o al sur del ecuador indica una medida de *latitud*, desde 0° en el propio ecuador, hasta 90° norte y 90° sur en los Polos. El paralelo 42° N, por ejemplo, atraviesa Roma y recorre la

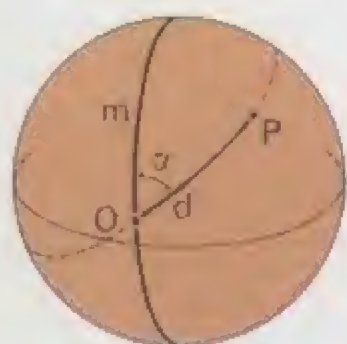


En el centro, principio de la *proyección cónica tangente*. La superficie de la esfera terrestre se proyecta sobre la de un cono cuyo eje coincide con el eje polar de la Tierra. La tangencia se hace a lo largo de un paralelo. La proyección se efectúa desde el centro de la Tierra. La parte de la esfera más próxima al paralelo en cuestión es la que resulta menos deformada. El mapa

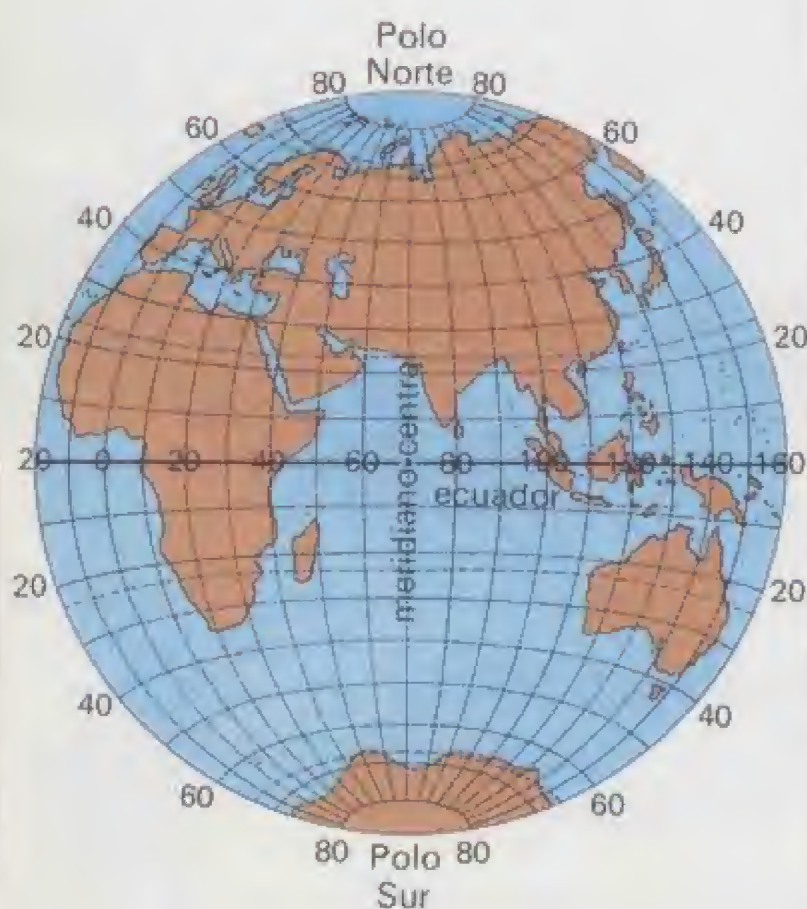
de la derecha es una *proyección cónica equidistante*, similar a la precedente, pero con la distancia entre los paralelos mantenida constante mediante un artificio de dibujo. Debajo, *proyección estereográfica ecuatorial*: la esfera se proyecta sobre un plano tangente en un punto del ecuador, con el punto de proyección situado también en el ecuador.



proyección cilíndrica isogona de Mercator



principio de las proyecciones azimutales

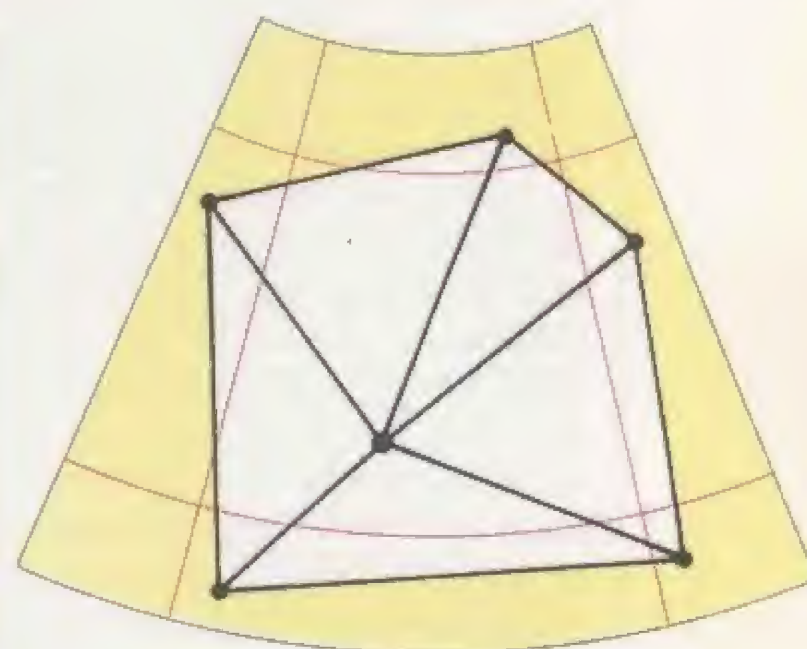
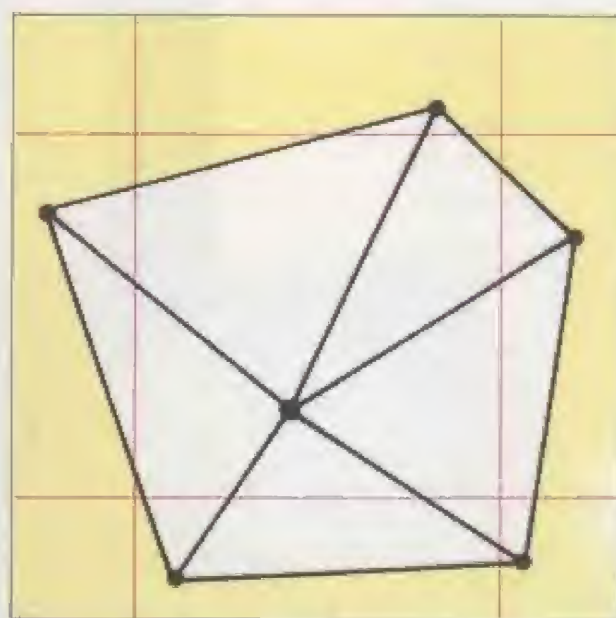


proyección azimutal ecuatorial equivalente

superficie terrestre formando una línea siempre paralela al ecuador. Los paralelos se van haciendo más pequeños a medida que se avanza en dirección a los Polos. Así, todo el hemisferio queda cubierto por un retículo y cada punto del Globo puede ser individualizado por sus coordenadas, que indican su latitud y su longitud.

Cuando este retículo se transfiere a un papel mediante un proceso conocido como *proyección*, cada punto del Globo, que es una superficie curva, puede ser representado sobre una superficie plana de papel. Existen muchas técnicas diferentes

A la izquierda, la llamada *proyección azimutal*. Se fija sobre la esfera un punto de origen O y un meridiano privilegiado m ; la posición sobre el mapa de un punto P resulta así fácil. Se va desde O a P por un círculo máximo; éste formará con m un ángulo. Se mide la longitud del arco OP y se representa todo sobre la hoja de papel plana (a la derecha). Arriba del todo, a la derecha, un antiguo mapa en proyección estereográfica.



de proyección, pero las más comúnmente utilizadas son la *cilíndrica*, la *cónica* y la *azimutal*.

Para tener una idea básica de lo que es la proyección, hace falta imaginarse la Tierra como si fuera un globo de cristal con el foco de luz situado exactamente en su centro. Si sobre el globo están pintadas líneas oscuras para representar los meridianos, los paralelos y los bordes de los continentes, estas líneas aparecen en forma de sombras cuando se acerca al globo una hoja de papel. La forma de las sombras (y el tipo de proyección) depende de la posición de la hoja de papel con respecto al globo.

Tipos de proyección Para realizar la *proyección cilíndrica*, se puede imaginar un globo terráqueo de cristal colocado en el interior de un cilindro de papel. Esta proyección, llamada *Mercator*, tiene el efecto de transformar las líneas meridianas curvas del globo en líneas rectas paralelas sobre el papel. La *proyección Mercator* se utiliza también en la confección de las cartas náuticas.

Una *proyección cónica* puede ser representada por las sombras proyectadas sobre un cono de papel apoyado sobre una zona de nuestro hipotético globo de cristal. Un ejemplo típico de esta clase de proyección es un mapa que muestre la Tierra vista desde el Polo Norte.

Bajo estas líneas, cómo queda de alterada la posición de cinco puntos en dos tipos de proyección cartográfica. No es posible conservar a la vez ángulos, longitudes y áreas en una misma proyección.

El tercer tipo de proyección, la *azimutal*, se obtiene cuando se apoya sobre el globo de cristal una hoja de papel plano. Resultan distintos tipos de proyección azimutal: según la posición del foco luminoso sea en el interior del globo, sobre su superficie o detrás del mismo. Todas las proyecciones son soluciones matemáticas de problemas visuales. El globo de cristal es puramente una ayuda para la imaginación, para permitirnos comprender este proceso crucial de la transferencia.

Ninguna de las proyecciones presenta una imagen totalmente uniforme. Algunas nos aseguran que todas las líneas que parten del centro del mapa representan de modo preciso la distancia (proyección equidistante); otras conservan, en cambio, las áreas (proyecciones equivalentes); y hay otras que reproducen la forma de las masas de tierra representadas porque conservan los ángulos (representación conforme).

Después de llevar a cabo la proyección, los cartógrafos pueden dibujar las características topográficas, elegir los colores, señalar los confines, añadir los rótulos y preparar todo para la impresión.

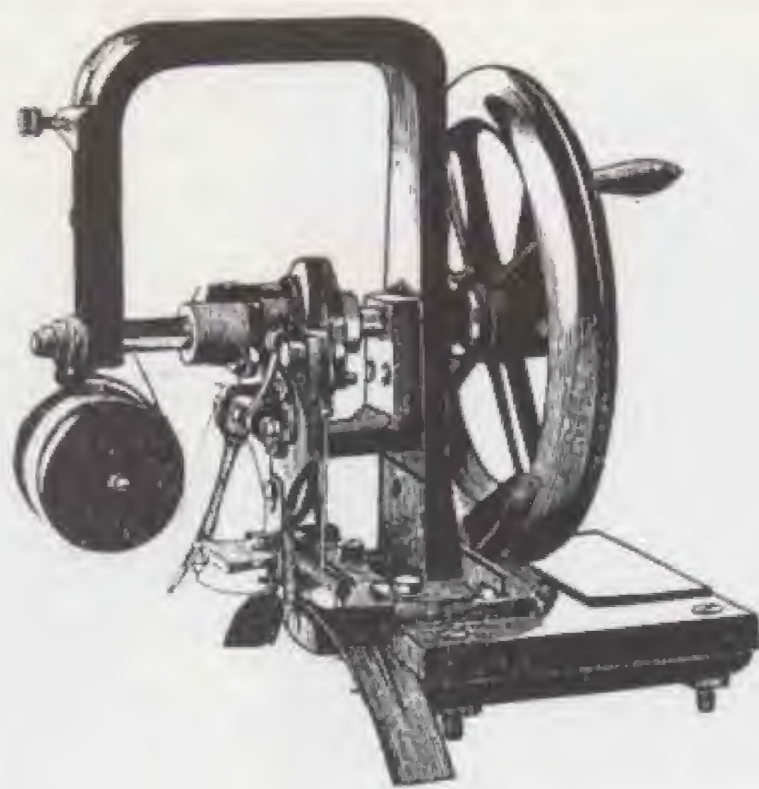
Véase **Cartografía; Cartografía celeste; Cartografía marina**

Máquina de coser

Las máquinas de coser, producidas a gran escala a partir de 1850, han sido uno de los primeros sistemas mecánicos destinados a uso doméstico.

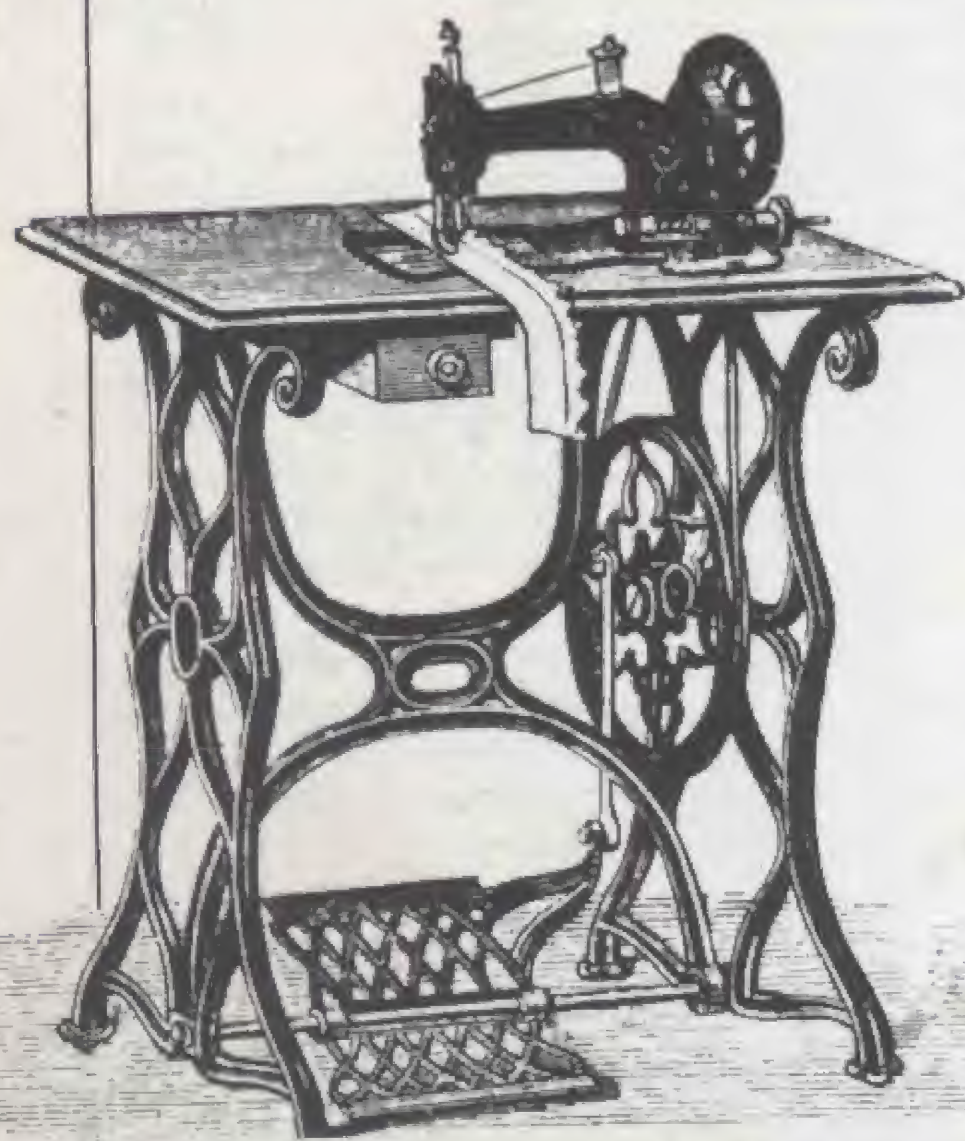
El principio fundamental de las máquinas construidas a finales del s. XIX es similar al de los modelos actuales, si bien el diseño es bastante distinto. Sin embargo, la velocidad a la cual puede coser una máquina ha aumentado considerablemente. Mientras que los primeros modelos podían alcanzar cien puntadas por minuto en el mejor de los casos, los modelos modernos para uso doméstico alcanzan las 1.500 puntadas por minuto y los modelos para uso industrial pueden sobrepasar las 5.000 puntadas por minuto.

Existen dos tipos principales de máquinas de coser: las de puntada de cadeneta y las de puntada de pespunte. Las máquinas de *puntada de cadeneta* se sirven de un solo hilo (procedente de un carrete situado por encima de la tela), que se enhebra por el ojo de la aguja. Esta penetra en el tejido y luego se eleva un poco pero sin que llegue a salirse el hilo, que queda formando un lazo. Cada vez que la aguja se desplaza a través del tejido para formar la lazada, un engarzador, formado básicamente por un gancho que oscila, mantiene el lazo en tal posición que cuando la aguja vuelve a bajar pasa a través de él antes de formar un nuevo lazo; de esta manera se forma una cadeneta. Actualmente este tipo de máquina se emplea para la costura industrial de artículos como sacos y bolsas, mientras que la gran mayoría de las máquinas de uso doméstico e industrial es de *puntada de pespunte*. Estas máquinas necesitan dos hilos: uno sobre la tela, extraído de forma continua a partir de un carrete, y otro por debajo de ella, tomado de un pequeño carrete, la canilla, montada bajo una placa metálica a través de la cual pasa la aguja. La bobina está dentro de una corona metálica que tiene un ganchillo sobre el extremo superior. El hilo de la aguja se hace descender, de



A la izquierda, el modelo original de la máquina de coser de Elias Howe. Realizada en 1846, fue la primera máquina de aguja con ojo que, con un movimiento automático accionado por una rueda a mano, recuperaba el hilo de la lanzadera. El incómodo mecanismo de transporte del tejido fue resuelto algunos años después por Singer con la máquina a pedal (abajo, a la izquierda), en uso hasta hace muy poco. La aplicación del motor

eléctrico en estas máquinas produjo una rápida evolución, que llega a nuestros días con la introducción de los modelos electrónicos (abajo). La máquina de Singer se accionaba por un pedal y la aguja, que se movía verticalmente, estaba dotada de una patilla para sujetar la tela, cuya presión era regulada por una palanca: la costura podía así ser "guiada" evitando saltos y desplazamientos de la aguja.



modo que atravesase la tela, como en el procedimiento anterior, pero el lazo que forma es cogido por el gancho de la corona, que hace pasar el lazo alrededor de la canilla, con lo cual queda atrapado el hilo que sale de ella.

Las máquinas de puntada de pespunte son utilizadas para coser vestidos, calzado y otros artículos de piel. La mayoría de las máquinas domésticas modernas dispone de una aguja oscilante que puede coser en zigzag.

Historia de la máquina de coser En 1830, el sastre francés Barthélémy Thimonnier construyó una máquina de puntada de cadeneta. Esta primitiva máquina de coser estaba provista de una aguja de lengüeta, que tendía a prenderse en la tela, y carecía de sistema de transporte de la tela, por lo que ésta debía ser movida a mano. En 1841, Thimonnier abrió un negocio con 80 máquinas para hacer uniformes destinados al ejército francés, pero una

multitud de sastres furiosos, preocupados ante la perspectiva de perder su trabajo, penetró en los talleres de Thimonnier y destruyó toda la maquinaria antes de darle la posibilidad de completar su labor.

En 1846 el norteamericano Elias Howe, basando su invención en algunos prototipos anteriores poco satisfactorios, construyó una máquina de puntada de pespunte con una aguja de punta curva. La aguja y el carrete eran accionados por una manivela girada manualmente y el tejido a coser se sujetaba verticalmente.

Otros inventores, entre los cuales se encuentra Isaac Singer, aportaron mejoras a este tipo de máquina. El carrete, en vez de moverse de adelante hacia atrás, giraba; el tejido se mantenía sobre una superficie horizontal (en vez de vertical) y las máquinas se ponían en funcionamiento mediante un pedal, dejando las manos libres para la costura. La de Singer fue la primera máquina que funcionaba de modo similar a las actuales. En 1889 aparecieron en



Bastillas, ojales recamados y costuras en zigzag son algunos ejemplos de lo que es posible realizar con una moderna máquina de coser electrónica. El modelo de la ilustración se llama "Lógica"; posee un cuadro de mandos

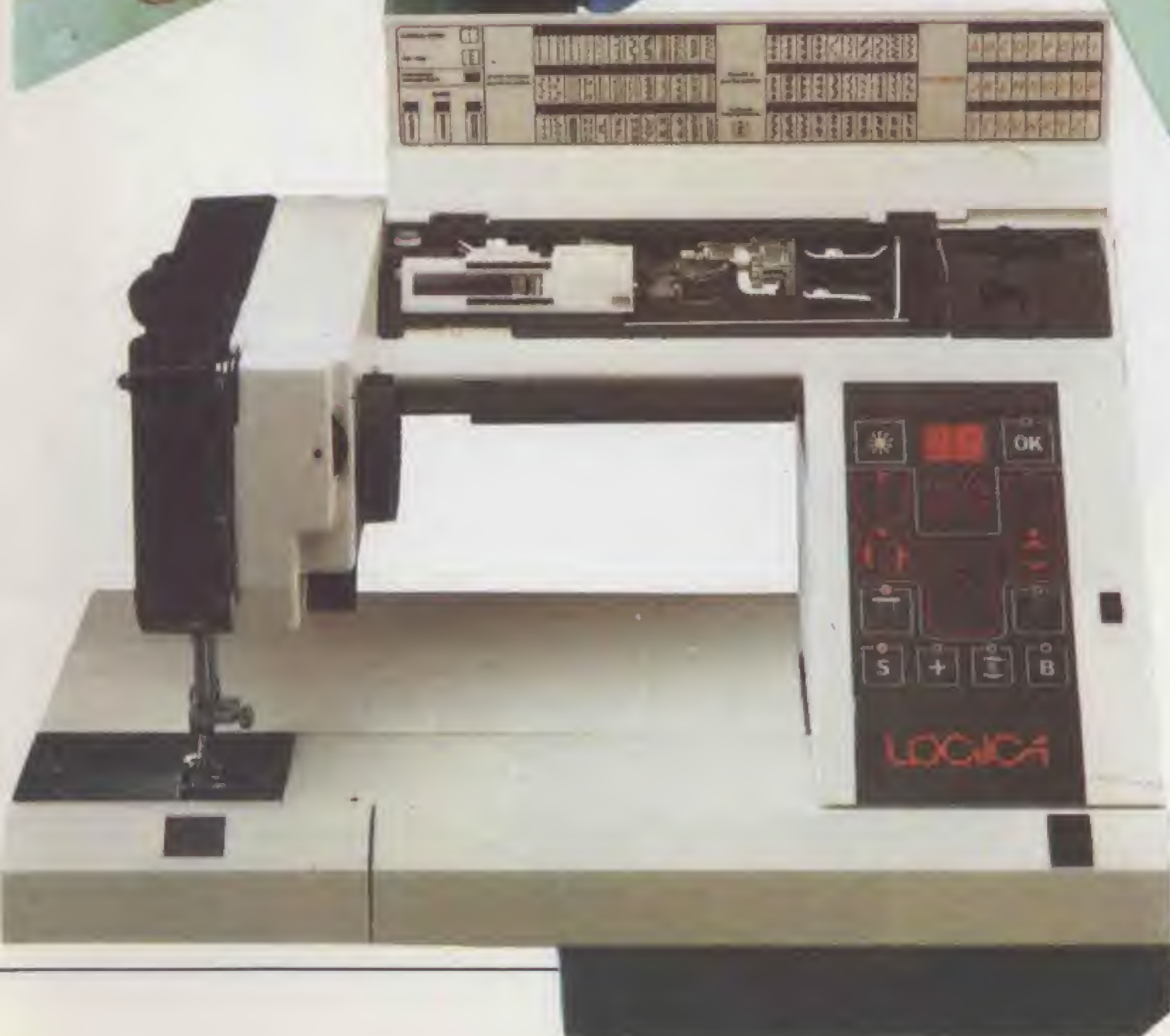
el mercado las primeras máquinas de coser eléctricas de uso doméstico. Pero hasta después de la I Guerra Mundial no tuvieron una gran difusión.

Las máquinas de coser industriales realizan las mismas funciones que las domésticas, pero son mayores y más pesadas y tienden a estar especializadas para una sola función (bordados, confección de ojales, etcétera).

Véase **Confección textil**

(abajo, a la derecha) sobre el que aparecen todas las posibilidades: basta pulsar la tecla correspondiente a la labor que se quiere realizar.

La elección de la prestación que se desea es comunicada a la máquina a través de un sistema de tres láminas electrónicas. La primera es la lámina "lógica" colocada dentro del cuadro de mandos; posee un microprocesador que contiene todos los datos fijados en la máquina; tiene más de dos mil informaciones. La segunda lámina, la "analógica", recibe la información de la primera y la transmite a los dos accionadores. La tercera controla el funcionamiento. La tecla de OK confirmará que "todo está en orden".



Necchi S.p.A.



Máquina de enarenar

Aunque siempre nos hayamos servido de la arena para limpiar y desengrasar, sólo desde hace relativamente pocos años —concretamente desde 1870— se empezó a utilizar esta técnica en la industria: fue cuando B. C. Tilghman, de Filadelfia, patentó unos sistemas para pulir y desengrasar piezas de maquinaria, para grabar el vidrio y perfilar madera y piedra.

La máquina de enarenar se basa en el principio según el cual los granitos de arena, o bien otras partículas de material duro, lanzados contra una superficie pétreo o metálica pueden erosionarla, aunque la dureza de la arena sea inferior a la del cuerpo así bombardeado.

Se han construido dos tipos principales de máquinas de enarenar, que se diferencian esencialmente por el método que emplean para la propulsión de la arena: el primer sistema lanza las partículas abrasivas mediante una corriente de aire comprimido y el segundo utiliza una rueda giratoria que dispone de paletas que lanzan el abrasivo.

Máquinas de enarenar de aire comprimido Las máquinas que utilizan el aire comprimido pueden funcionar por sifón, por gravedad o presión directa. En la máquina de enarenar que funciona por *sifón*, una corriente de aire comprimido entra en una cámara a través de una estrecha tobera, atraviesa una pequeña abertura y continúa por otro conducto que sale del sistema. Hay un tercer tubo dirigido hacia dicha abertura, hacia la corriente de aire, que contiene arena u otro abrasivo. Por ser la cámara mayor, la corriente de aire comprimido produce en ella un vacío parcial que aspira la arena y la introduce en la corriente de aire, que la proyecta. En la máquina de enarenar que funciona por *gravedad*, la arena está en un depósito situado en la parte superior de dicha máquina, fluyendo a través de un tubo a la corriente de aire comprimido. En ambos sistemas la arena no alcanza nunca la velocidad del flujo de aire. Sin embargo, este problema ha sido solucionado en el tipo de enarenadora por *flujo directo*. En esta máquina una corriente secundaria de aire comprimido actúa en el depósito estanco, de forma que cuando el abrasivo entra en la corriente principal de aire lo hace ya con cierta velocidad.

Máquinas de enarenar por centrifugación En esta clase de máquina de enarenar, se fijan sobre una rueda giratoria unas paletas que golpean y lanzan el abrasivo. En el tipo más generalizado de estas máquinas, el abrasivo llega al cubo del rodete, que es una pequeña rueda con unas paletas que, al girar velozmente, empujan con fuerza el abrasivo hacia el exterior. Ahora bien, en las máquinas centrifugadoras no se suele utilizar arena como abrasivo, ya que sus partículas, demasiado ligeras, tienden a quedarse alrededor de las paletas, dificultando su movimiento. Generalmente se emplean pequeñísimas bolas de acero, de dureza inferior al ma-

terial utilizado en la elaboración de las paletas.

La arena puede ser muy peligrosa para la salud de los que trabajan con estas máquinas, por su tendencia a disgregarse y formar polvo cuando golpea una superficie dura. El que respira este polvo corre el riesgo de que en sus pulmones se formen nódulos, fibroplastos y linfocitos que pueden llevar a la *silicosis*, enfermedad grave similar a la que padecen muchos mineros.

Para eliminar esos efectos, se han buscado sustitutos de la arena. Los más utilizados son bolitas metálicas, cristales diminutos (en ocasiones, de óxido de aluminio) y hasta trocitos de cáscaras de coco, nueces o almendras. El uso de la arena para estos fines ha sido prohibido en el Reino Unido, pero es todavía muy utilizada en los demás países. Para paliar los efectos de la arena, los obreros se protegen con máscaras que disponen de unos filtros bastante eficaces. En máquinas especialmente preparadas, se utiliza a veces arena humedecida, que genera menos polvo.

Fábricas y lugares de trabajo Las máquinas de enarenar son muy utilizadas en las fábricas que producen piezas fundidas de metal para preparar superficies pulimentadas y para afilar herramientas. Pequeñas máquinas de enarenar son introducidas en cabinas, llamadas *cabinas de*

enarenado, en las que los obreros trabajan con máscaras y guantes que les permiten manejar piezas pequeñas. Las cabinas de enarenado en las que los obreros deben actuar sobre piezas de gran tamaño están siendo sustituidas por instalaciones que funcionan automáticamente, en las cuales las piezas se desplazan sobre cintas transportadoras, o en contenedores, y ningún obrero está expuesto a los efectos del chorro de arena.

A menudo hay que efectuar el trabajo de enarenado en las mismas obras (para pulir edificios), en los astilleros (para limpiar los cascos de los buques) o en las propias carreteras (para pulir puentes metálicos). Para estos trabajos se utilizan generalmente máquinas de enarenar portátiles. Los obreros suelen llevar monos protectores, cascos y máscaras que les proporcionan aire oxigenado.



El enarenado se efectúa con distintos abrasivos, según las piezas que deban ser tratadas. El enarenado se utiliza para pulir piezas metálicas obtenidas por fusión y que se hayan cubierto por una costra de óxido metálico, como es el caso del ancla que se puede observar en la página siguiente. También puede ser utilizado para pulir la fachada de un edificio que tiene ya la pátina del tiempo. A veces se efectúa el enarenado con polvos abrasivos muy finos, logrando un acabado superficial que da a las piezas una apariencia satinada. Sobre estas líneas se representa el principio de funcionamiento de la máquina de enarenar: una corriente de aire comprimido absorbe el polvo que baja desde un depósito y lo proyecta, tras pasar por una tobera, contra la pieza que debe ser pulida. A la izquierda puede observarse una máquina de enarenar portátil.

Abajo se representa una cabina para realizar el enarenado. Hasta que este trabajo no esté robotizado, será el hombre quien respire partículas del polvo abrasivo utilizado para pulir las piezas. Estas máquinas de

enarenado disponen de diversos mecanismos: a la derecha, la cabina con el motor y la bomba de alimentación de aire comprimido; dispone también de un almacén de arena o del abrasivo que se vaya a proyectar. Como

el aire comprimido entra en la cámara y luego vuelve a la atmósfera, se impone contar con un depurador que absorba el polvo que contiene el aire. También puede verse el filtro del aire. Las paredes interiores

de la cabina deben estar protegidas por material elástico capaz de resistir la proyección de las partículas que no golpeen la pieza en tratamiento o que reboten. La pieza, si es pequeña y ligera,

puede ser introducida en la cabina por una puerta lateral colocada a nivel del suelo o un poco más arriba, o por unas trampillas dispuestas en el techo

si es más pesada. El obrero va provisto de botas y mono especiales que le protegen del abrasivo; además, está protegido con una máscara y con gafas que le aíslan, evitando así que respire polvo o que pueda sufrir daño en los ojos.

CABINA TRANSPORTABLE DE ENARENADO

cámara de enarenado

reflectores

clasificación

grupo de enarenado

filtro

Máquina de escribir

Desde la primera patente, que data de principios del siglo XVIII, la máquina de escribir ha pasado por una serie ininterrumpida de desarrollos y mejoras. Algunas de las primeras máquinas de escribir parecían un aglomerado de relojes, otras parecían pianos (había un tipo que incluso tenía el teclado de un piano). Además, con los primeros modelos se escribía mucho más despacio que a mano. Con las modernas máquinas de escribir eléctricas, sin embargo, se puede alcanzar gran rapidez con el leve roce de las teclas.

Definición original La definición de máquina de escribir ha variado sólo ligeramente con respecto a la descripción de la patente concedida en 1714 por la Reina de Inglaterra al inventor Henry Mill: máquina que puede imprimir en tinta secuencias de letras sobre el papel, "tan claras y precisas como para no poder ser diferenciadas de los caracteres de imprenta".

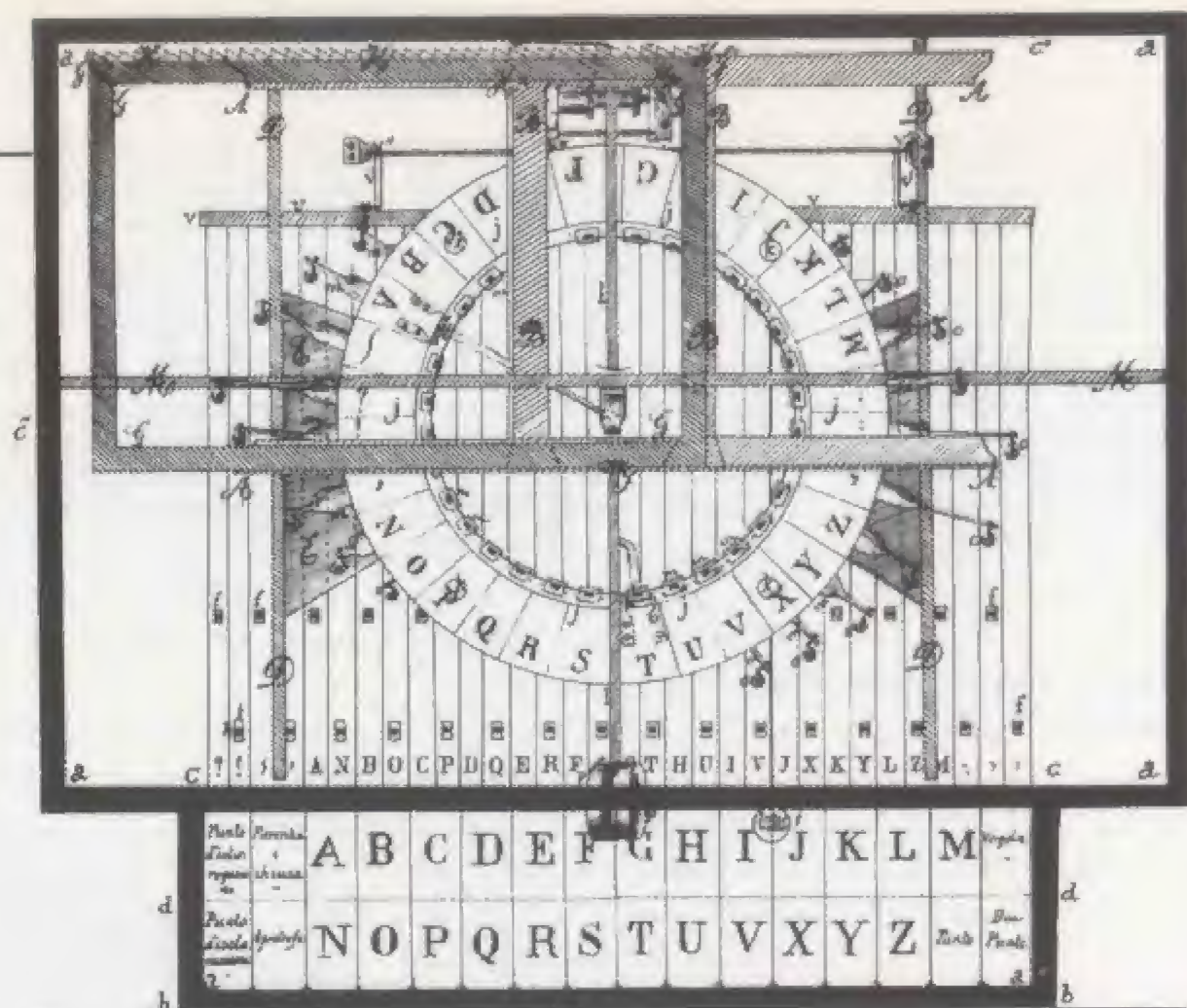
Existen hoy día tres tipos fundamentales de máquinas de escribir: las manuales, las eléctricas y las electrónicas.

Todas las máquinas de escribir, ya sean manuales o electrónicas, poseen elementos comunes. El teclado, por ejemplo, consiste en una serie de teclas (de 44 a 96) que corresponden a letras o a otros símbolos de escritura. Cuando se pulsa una tecla, se pone en movimiento una palanca impresora (un largo y pequeño martillo metálico que golpea sobre una cinta impregnada de tinta) o bien una cabeza impresora (una pequeña esfera de plástico que gira hasta golpear sobre el papel, enrollado en un rodillo o cilindro rotante). En los modelos manuales, y en muchos eléctricos, hay un carro móvil que constituye la estructura que soporta el rodillo.

A la derecha vemos una máquina de escribir que se sirve de discos para memorizar los textos, y el video de un procesador. Este "videosistema de escritura" permite presentar en pantalla 1.920 caracteres (24 líneas de 80

caracteres). En un disco puede introducirse una cantidad de texto equivalente a la contenida en 180 folios a doble espacio. La impresión de los caracteres sobre el papel se suele realizar mediante impresora de margarita.

A la derecha, dibujo en planta de la máquina de escribir proyectada a mediados del siglo pasado por Giuseppe Ravizza, cuyo prototipo se custodia en el Museo Nacional de la Ciencia y de la Técnica Leonardo da Vinci de Milán. Llamada *piano escribiente*, era un modelo muy primitivo que funcionaba a base de teclas y palancas. Nótese el conjunto de los caracteres dispuesto en forma de margarita, que sólo en los últimos años ha sido reintroducido: y precisamente para máquinas de gran calidad de escritura.

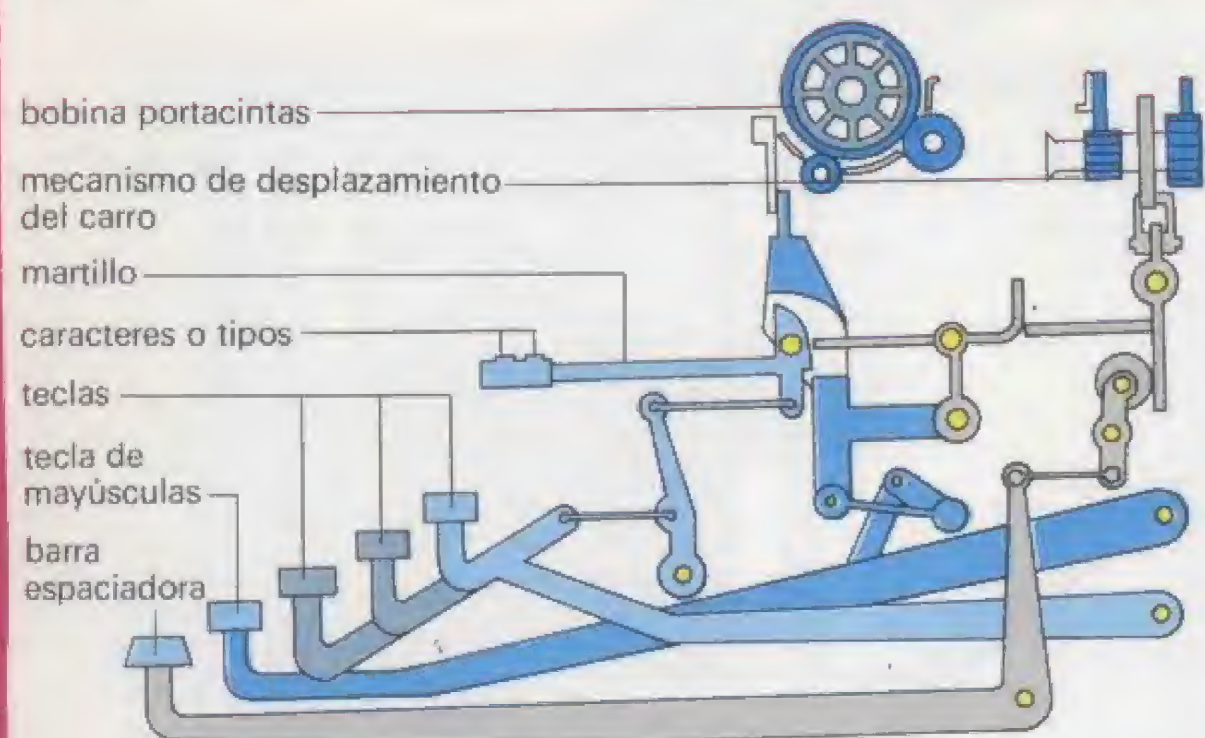


Máquina de escribir manual Ha variado muy poco desde aquel famoso modelo de Remington de 1864 usado por Mark Twain para entregar el texto mecanografiado de su primer libro. Pulsando una tecla, el mecanógrafo transmite una energía física que, a través de un complicado sistema de palancas, tornillos, hilos y conexiones, levanta la palanca impresora, de forma que golpea el papel. Cada palanca impresora tiene un signo en relieve; cuando se levanta hacia el centro del carro, la cinta es golpeada por el tipo o carácter, quedando así impreso el signo sobre el papel. Cuando la palanca impresora golpea la cinta, obliga al carro a moverse un espacio hacia la izquierda. Con la invención en 1878 de la tecla para mayúsculas, se suelen poner dos caracteres o signos en relieve en cada palanca impresora; la tecla para mayúsculas trajo consigo una leve modificación en el carro y en el sistema de palancas.

Máquina de escribir eléctrica La máquina de escribir eléctrica, patentada por Thomas Edison en 1872, funciona prácticamente del mismo modo que la manual. La diferencia fundamental consiste en que sustituye el impulso físico sobre la tecla por un suave roce de la misma. De esa forma es más rápida e imprime letras de intensidad homogénea, pues en la manual la intensidad de la impresión depende no sólo del estado de conservación de la cinta impresora sino de la fuerza del impulso. Puesta en movimiento por un ligero toque de una tecla, la máquina conecta automáticamente un eje de mando que gira continuamente: de esta forma el motor eléctrico controla el golpe de la tecla, el movimiento del carro y los espacios.

Un adelanto muy importante fue la aparición de la cabeza impresora esférica, introducida en 1961 por la empresa IBM. Esta esfera, de plástico rígido, niquelada y de aproximadamente 38 mm de diámetro,





Arriba, máquina de escribir tradicional y, a la izquierda, algunos mecanismos que sirven para golpear sobre el rodillo portapapel el carácter deseado. La

pulsación se lleva a cabo por la presión de los dedos del usuario. Los mecanismos son realizados con mucha precisión para que las teclas puedan ser pulsadas con la misma

fuerza aun cuando unas están más cerca y otras más lejos del rodillo. En las máquinas eléctricas la manipulación de las teclas se reduce a establecer un contacto

eléctrico; no sólo se obtiene mayor velocidad, sino también una presión más suave y más uniforme, y por tanto una escritura de más calidad.

gira rápidamente hasta colocar adecuadamente la letra pulsada. Además, la envoltura completa de la cabeza impresora se desliza por medio de un cable sobre la hoja, de izquierda a derecha, no siendo ya necesario el carro móvil.

Ya que estas esferas son fácilmente cambiables, hoy en día es posible utilizar en una misma máquina "cabezas" con diversos caracteres y cuerpos de letra. Incluso es posible utilizar los símbolos matemáticos o alfabéticos (por ejemplo, caracteres griegos o cirílicos) especiales.

La cabeza impresora reacciona a los impulsos con alta velocidad, llegando a ejecutar más de 15 pulsaciones por segundo. Esos impulsos pueden proceder de los dedos de un mecanógrafo o de impulsos grabados sobre cintas magnéticas. Cuando, por ejemplo, se pulsa la tecla A, se pone en movimiento una serie de bastoncillos selectores que reaccionan sólo al pulsar A. Estos bastoncillos, a su vez, actúan sobre dos bandas de acero colocadas en la base del contenedor de la cabeza impresora. Una de estas bandas hace rotar el eje de la cabeza (para un giro) y la otra cambia la posición de la cabeza (para levantarla). Así, para 88 caracteres, existen 88 tipos de bastoncillos selectores. A pesar de que en el interior de la máquina parece haber un laberinto de palancas y bastoncillos, el resultado final es una pulsación veloz y eficiente.

Máquina de escribir electrónica La última generación de máquinas de escribir posee sistemas electrónicos computarizados. Cada máquina tiene un minúsculo microprocesador que emite impulsos electrónicos a los múltiples electroimanes dispuestos en el interior de la máquina de escribir; estos electroimanes maniobran inmediatamente las piezas mecánicas que controlan los márgenes, los puntos de tabulación, la alineación en columna, la revisión, las correcciones y otras funciones.

Muchas de estas máquinas poseen "memoria" electrónica, en la que pueden ser almacenados miles de caracteres.

Véase Procesador de textos



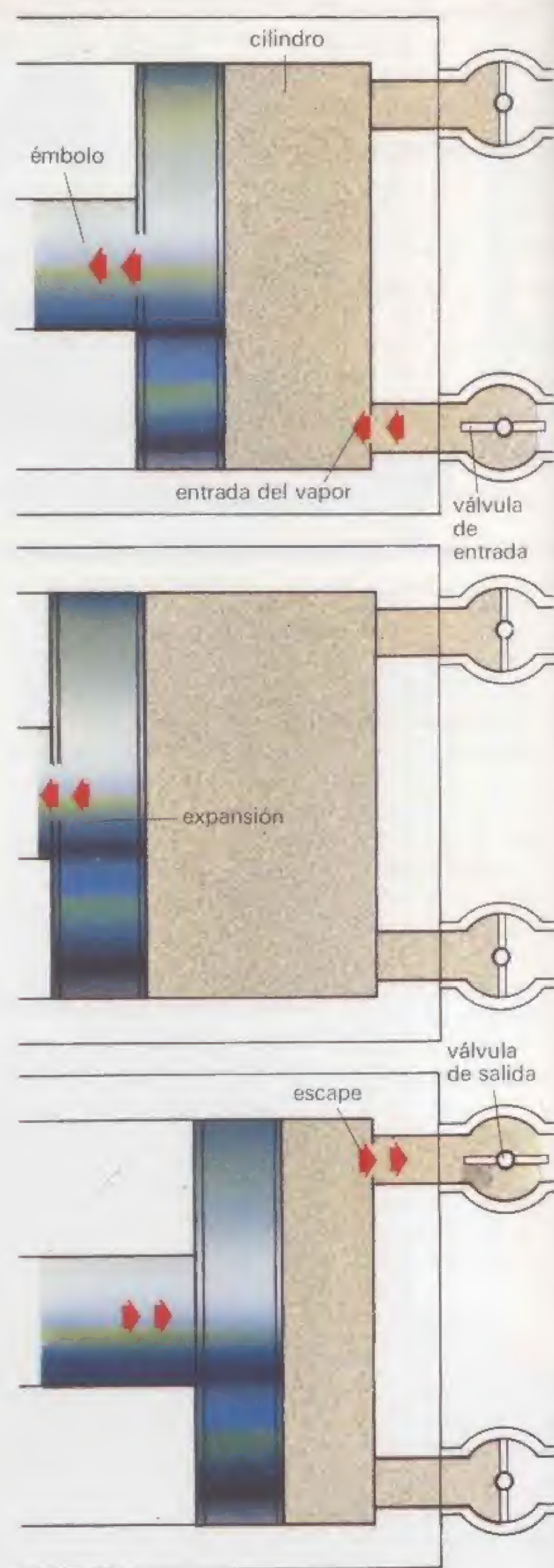
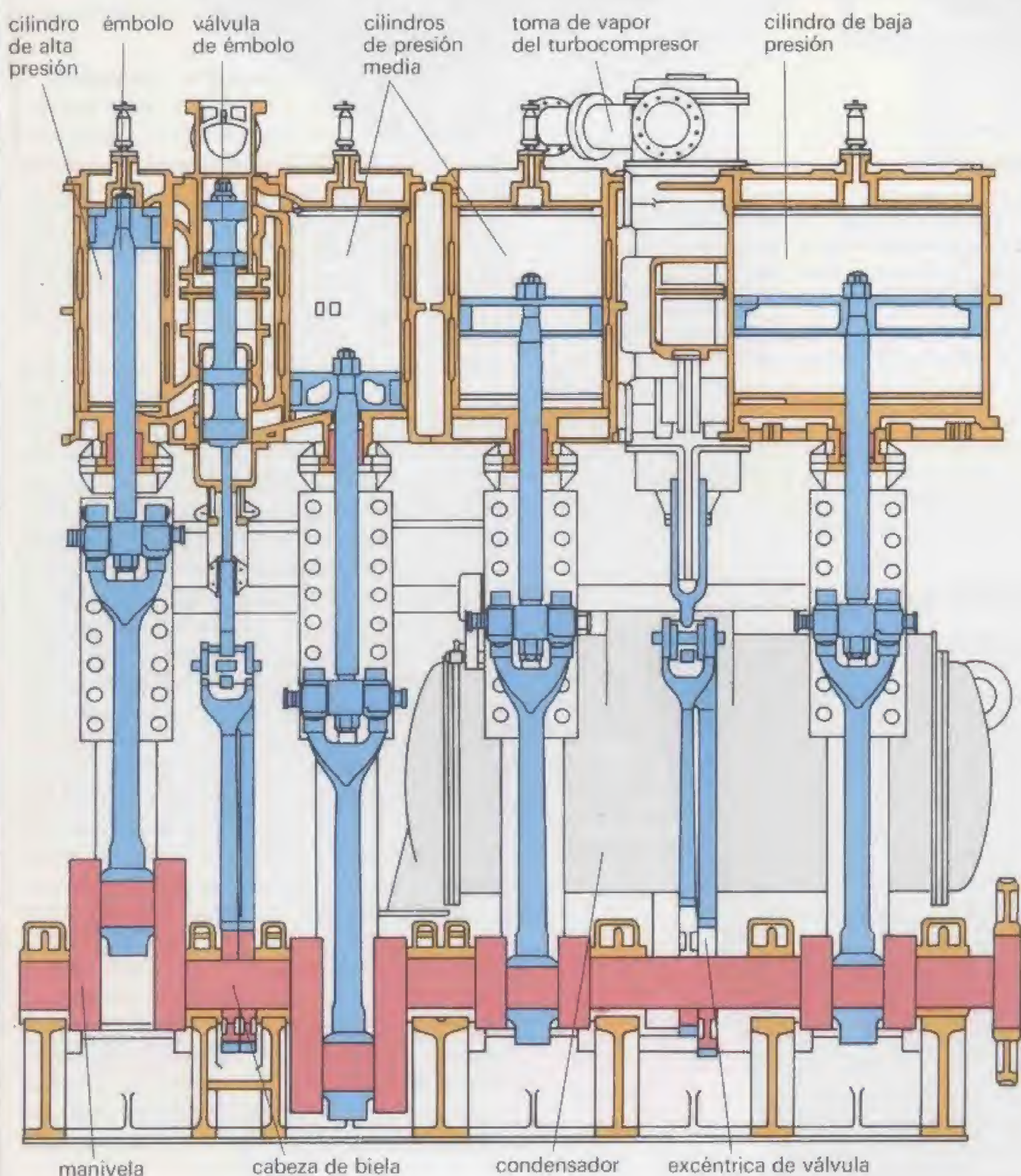
Máquina de vapor

El motor de vapor inventado por James Watt en el último cuarto del siglo XVIII está considerado como el instrumento que hizo posible la Revolución Industrial. Realmente, Watt se limitó a mejorar un motor inventado mucho antes, pero que tenía el inconveniente de consumir demasiado combustible como para encontrarle una aplicación práctica.

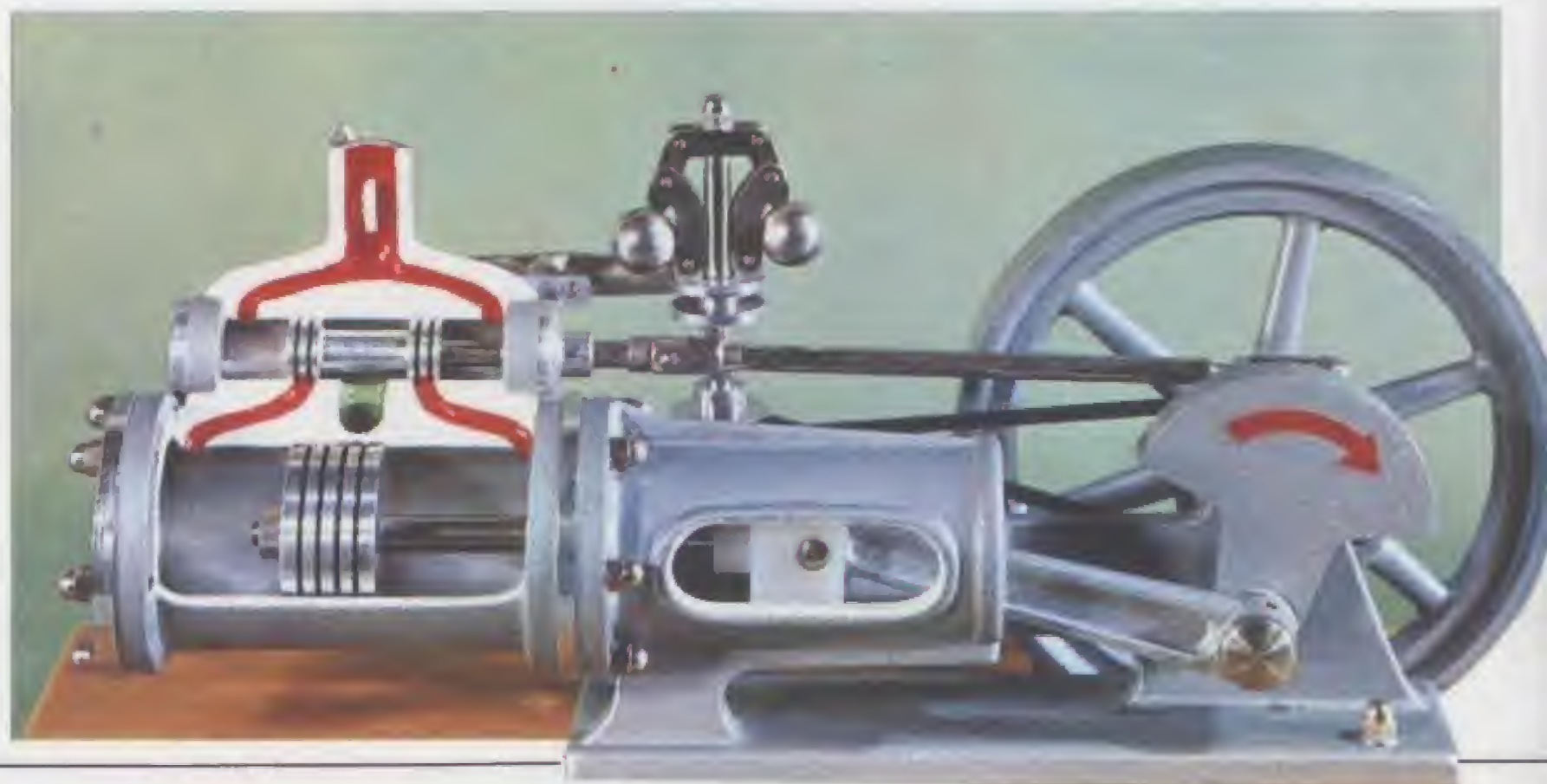
Una máquina para la "elevación de agua" fue patentada por primera vez en Inglaterra, en 1698, por Thomas Savery; sie-

Una de las utilidades más significativas del motor de vapor es en la navegación. Abajo, su aplicación a un barco de dos hélices. Se pueden ver los émbolos de los cilindros y el gran cigüeñal, al cual se une el árbol de transmisión. A la derecha, esquema de funcionamiento del

motor de vapor: el vapor que llega de la caldera entra en el cilindro a una determinada presión, se expande cediendo al émbolo parte de su energía y luego es expulsado, a través de una válvula, a presión y temperatura inferiores a las de entrada. En este momento el vapor puede ser cedido a la



te años más tarde, Thomas Newcomen desarrolló un modelo más perfeccionado: la máquina atmosférica. Aproximadamente un siglo después, el inventor escocés James Watt fue encargado por la Universidad de Glasgow de mejorar el motor de Newcomen, que en su origen había sido destinado a extraer el agua en las minas de estaño de Cornualles. Trabajando en esta máquina, Watt consiguió algunos perfeccionamientos que hacían posible obtener un ahorro de combustible. A partir de 1769, Watt registró una serie de patentes relativas a su versión del motor Newcomen, y el comienzo de la fabricación de su motor en 1782 fue la clave del por entonces naciente sistema industrial. Este modelo básico de máquina de vapor evo-



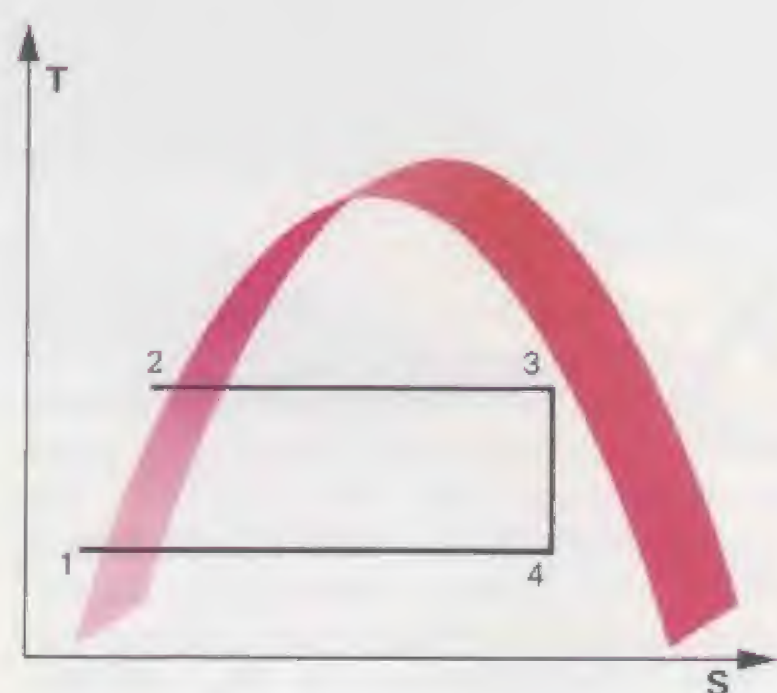


lucionó rápidamente hacia distintas formas, según sus diferentes aplicaciones.

El funcionamiento de la máquina de vapor La máquina de vapor transforma la energía térmica del vapor de agua —procedente de una caldera— en energía mecánica mediante su expansión contra un émbolo que se mueve en el interior de un cilindro.

La máquina de vapor es un motor de combustión externa, es decir, el combustible se quema fuera del cilindro, y por ello los niveles de contaminación producida por los gases de combustión pueden mantenerse muy bajos. El vapor de agua es introducido en el motor según un ciclo cuidadosamente determinado, por el que dicho vapor se expande actuando sobre órganos mecánicos y desarrollando su energía térmica en forma de energía cinética. El calor residual del proceso es posteriormente eliminado mediante uno de los siguientes sistemas: puede ser descargado en la atmósfera, como sucedía en las antiguas locomotoras de vapor, o bien ser enviado mediante unas tuberías a un condensador que, enfriándolo y disminuyendo su presión, hace que vuelva al estado líquido.

Tipos de motores de vapor Según el sistema adoptado para que el vapor desarrolle su trabajo durante la fase de expansión, se pueden distinguir diversos tipos de motores de vapor, entre los cuales están los siguientes:



→ atmósfera exterior, o bien ser condensado y reintroducido en la caldera. Abajo (en la página anterior), modelo de uno de los primeros motores de vapor. En esta página, arriba, modelo de la máquina de vapor de Watt (1782), obtenida perfeccionando la máquina de Newcomen, que posibilitó la Revolución Industrial. Debajo (en el centro), un diagrama en el que se representan la entropía (abscisa) y la temperatura

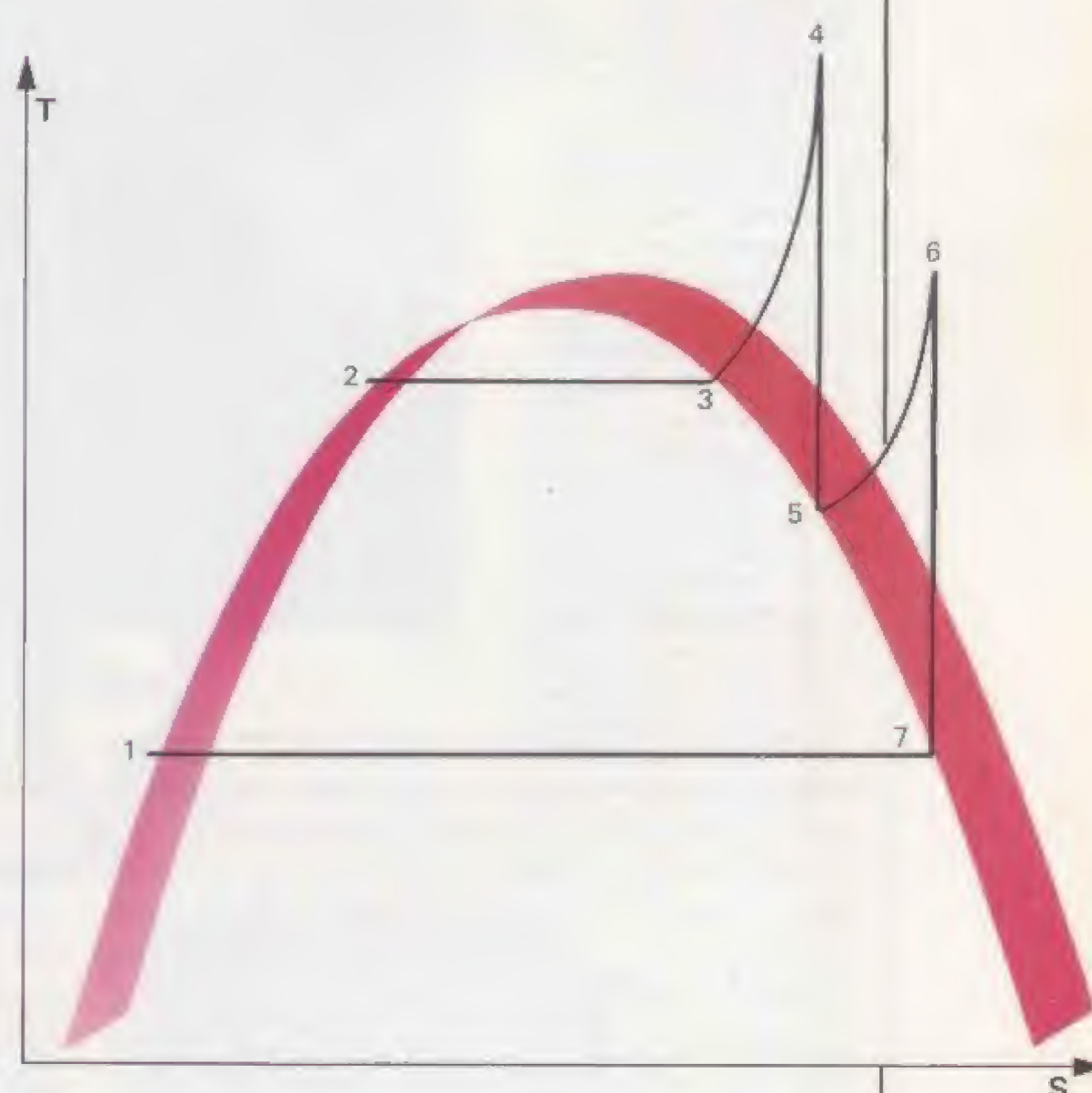
(ordenada). Entre el punto 1 y 2 el agua entra en ebullición, entre los puntos 2 y 3 se transforma completamente en vapor, entre los puntos 3 y 4 el vapor se expande, y entre los puntos 4 y 1 vuelve a condensarse, cerrando el ciclo. En el diagrama de la derecha, en condiciones y parámetros análogos, tenemos dos fases de recalentamiento; entre los puntos 3 y 4 y entre los puntos 5 y 6. Este tipo de ciclo es utilizado sobre todo en el caso del vapor.

• **Motor de émbolos.** En este tipo de motor un émbolo —elemento mecánico deslizante que corre a lo largo de un cilindro— es empujado por la presión del vapor en expansión que actúa entre las superficies del cilindro y la cara superior del émbolo. Dicho empuje sobre el émbolo produce la conversión de la energía del vapor en trabajo mecánico.

• **Turbina.** En esta clase de motor el vapor es enviado a través de tuberías y lanzado en forma de chorros, proporcionando un trabajo al ejercer su presión sobre unas paletas fijas y un rotor.

En ambos tipos de motores el vapor se expande, progresivamente, desde una presión relativamente elevada y un pequeño volumen hasta una presión menor con mayor volumen, en las fases finales del ciclo.

El motor de turbina ofrece innumerables ventajas. Su rendimiento es mayor con respecto al motor de émbolos, ya que son eliminados los problemas inherentes al movimiento relativo de las piezas en contacto, como émbolos y pistones. Sus características permiten que el vapor pue-



da expandirse hasta un volumen mayor y a temperaturas finales más bajas.

Sin embargo, la principal característica de la turbina de vapor consiste en la favorable relación entre la potencia producida y el tamaño del motor: efectivamente, la turbina puede producir enormes cantidades de energía conservando dimensiones relativamente reducidas. Por esta razón, el motor de turbina representa actualmente la mejor máquina de producción de energía a partir del vapor, sobre todo cuando se requieren grandes cantidades de potencia.

Véase **Turbina de vapor; Vapor y tensión de vapor**

Maquinaria agrícola

En los países industrializados, los agricultores se sirven para su trabajo de una maquinaria muy variada y moderna. Sin embargo, hasta hace pocos años era frecuente encontrar muchos campesinos que, acostumbrados a trabajar la tierra con la ayuda de animales y de sus propias manos, eran reacios a la mecanización de las labores propias del campo. La tecnología comenzó a introducirse en el campo hacia mediados del siglo XIX, es decir, más de 50 años después de que la Revolución Industrial hubiese comenzado a transformar las técnicas de producción. No obstante, en la Inglaterra del siglo XVIII se produjo ya la adopción de diversas máquinas, hasta el punto de que se habla para ese país y ese siglo de una auténtica revolución agrícola. Las máquinas agrícolas se popularizaron al perfeccionarse la tecnología, y la agricultura empezó a convertirse en una actividad orientada, en gran parte, a las exigencias de un vasto

para los trabajos que se efectúan en cada temporada (arado, sementera, etc.). El tractor tradicional está dotado de numerosos mecanismos para accionar la maquinaria que arrastra. La barra de tracción, situada en la parte posterior del tractor, sirve para enganchar otra maquinaria, tal como arados o roturadores. La bomba hidráulica suministra a los cilindros, fijados arriba o abajo, la fuerza necesaria para regular automáticamente la altura de los arados, los ángulos de las gradas y la posición de los distintos útiles de trabajo. De esta manera, el agricultor puede determinar la profundidad a la cual quiere trabajar el terreno. La toma de energía alimenta las máquinas montadas sobre el tractor o bien arrastradas por él, suministrando energía a las partes móviles de las segadoras, embaladoras de heno, cosechadoras, bombas de riego, etcétera.

Existen dos tipos principales de tractores: los de ruedas y los de oruga. Actual-

Las máquinas para la preparación del terreno Los arados, las gradas y los arrancadores son las principales máquinas empleadas en la preparación del terreno, imprescindibles para llevar a cabo una buena siembra. Al arar y allanar el terreno, y al arrancar las malas hierbas, se facilita el brote y crecimiento de las plantas. Con ello no sólo se ayuda a que las plantas desarrollen sus raíces, sino también a que aumente la circulación del aire y del agua en el suelo. El *arado*, máquina fundamental para trabajar la tierra, rompe la dura capa de la superficie del terreno hasta una profundidad que va de los 15 a los 40 centímetros, e incluso más.

Los arados, generalmente arrastrados por un tractor, después de profundizar en la tierra, la levantan, la voltean, la desmenuzan y entierran los residuos superficiales, entre los que se encuentran también sustancias orgánicas nutritivas. Un arado arrastrado por un tractor dispone de has-

La medida con la cual se enjuicia el grado de mecanización agrícola es la que tiene en cuenta los medios disponibles para efectuar los diferentes trabajos necesarios para el cultivo del trigo. Estos consisten principalmente en el arado del terreno, el allanamiento con grada, la siembra, la recolección y la trilla. Para los primeros de estos trabajos es necesario remover la tierra; se debe disponer, por tanto, de gran cantidad de energía. También en los demás trabajos el consumo de energía



es importante, pero no tanto. Cuando la zona cultivada es grande y llana, se pueden utilizar máquinas de grandes dimensiones, como la sembradora de la izquierda. Abajo, una niveladora.

mercado. Sin embargo, sólo a partir de los años treinta de este siglo las máquinas sustituyeron, en las explotaciones agrícolas de muchos países, a la mayor parte del trabajo manual, quedando desde entonces condenados a desaparecer los animales de labor y de carga, excepto en áreas que por sus características topográficas hacen casi imposible la utilización de máquinas.

Las máquinas agrícolas se subdividen en cuatro tipos principales: *unidades motrices o tractores, maquinaria para el trabajo de la tierra, sembradoras y segadoras o cosechadoras*. Estas máquinas, generalmente de grandes dimensiones, deben ser manejables y resistentes, pero al mismo tiempo han de ser precisas y delicadas para llevar a cabo el cultivo del terreno y la recogida de la cosecha.

Tractores El momento más importante en el proceso de la mecanización agrícola fue quizás la aparición del *tractor*, que supuso el paso de la tracción animal a la tracción mecánica. Accionados por motores de gasolina o Diesel, los tractores constituyen la unidad motriz que sirve para arrastrar la maquinaria especializada

mente, el 97% de los tractores utilizados en el campo es del tipo de ruedas. Estos se emplean sobre todo para la preparación de sementeras, para el cultivo y para el arrastre de otro tipo de maquinaria. Están dotados de ruedas traseras grandes y potentes, mientras que las ruedas delanteras son más pequeñas y, en algunos casos, están muy próximas, lo que permite una buena maniobrabilidad entre las hileras de cultivos. Los tractores más modernos, de cuatro ruedas motrices, pueden desenvolverse mejor en lugares difíciles, gracias a su mayor adherencia.

Los tractores oruga se utilizan para trabajos duros, como el allanamiento del terreno o las labores en suelos muy accidentados o embarrados. Disponen de unos sistemas de rodamiento muy parecidos a los de los carros de combate.

Muchos tractores modernos están dotados de cabinas cerradas, aisladas acústicamente y provistas de aire acondicionado, así como de una excelente suspensión. De esta forma los agricultores ya no tienen que sufrir en exceso las inclemencias del tiempo, ni los traqueteos producidos por las irregularidades del terreno.



ta diez aperos —sujetos a un bastidor— para hacer los surcos en el terreno. Estos aperos para el arado pueden trabajar con distinta inclinación según el cultivo y el tipo de terreno, y están compuestos de tres partes principales: la reja, la cuchilla y la vertedera, unidas entre sí mediante un bastidor en forma de cuña de tres lados. La *reja* es el elemento de forma puntiaguda que corta el terreno formando surcos. La *vertedera*, colocada encima y detrás de la reja, voltea la tierra del surco, la desmenuza y la empuja hacia un lado. La *cuchilla*, que penetra verticalmente en el fondo del surco, proporciona la estabilidad al arado mientras trabaja soportando el empuje producido al remover la tierra.

Las máquinas que trabajan el terreno desmenuzando la tierra sin voltearla se llaman *roturadores mecánicos*. Disponen generalmente de una serie de finas púas en forma de tenedor que rastrillan el terreno. Estas máquinas pueden trabajar de una

En la tabla de la derecha podemos apreciar el tiempo necesario para arar una hectárea de terreno. Hacen falta más de dos días empleando el arado primitivo arrastrado por

caballos, y poco más de media hora si se usa un arado múltiple arrastrado por un tractor potente. La técnica es la misma, la única diferencia está en el tipo de energía utilizado.

TIEMPO NECESARIO PARA ARAR UNA HECTAREA DE TERRENO

Arado de una sola reja arrastrado por dos caballos



13 h 42 min.

Arado de dos rejas arrastrado por cuatro caballos



5 h 57 min.

Arado de dos rejas arrastrado por un tractor



4 h 19 min.

Arado de tres rejas arrastrado por un tractor



2 h 7 min.

Arado múltiple arrastrado por un potente tractor



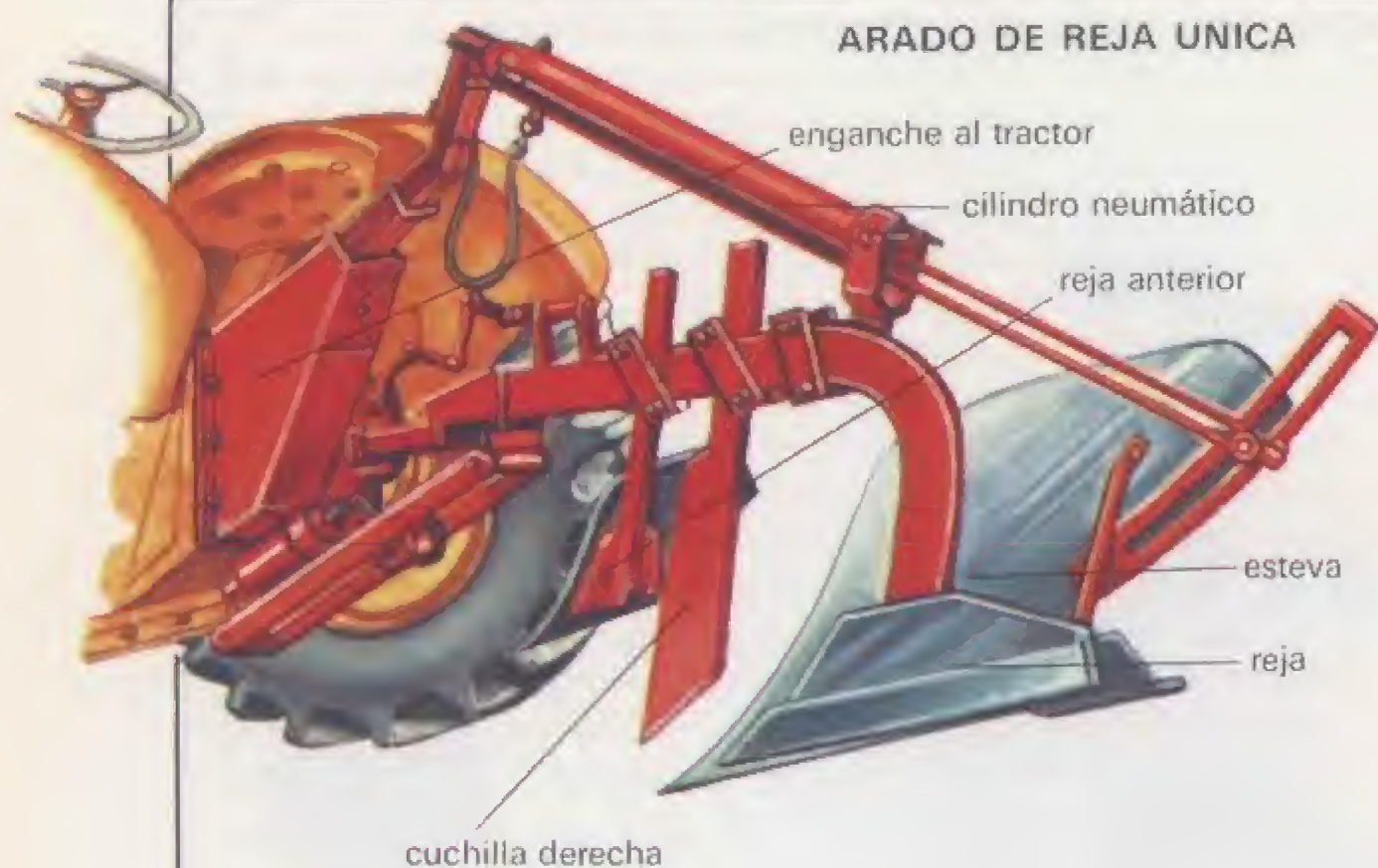
0 h 40 min.



→ metálico y puede romper los terrones; el que vemos abajo, sin embargo, es múltiple y está arrastrado por un potente tractor. Evidentemente, el modelo más antiguo está precedido de una experiencia desarrollada durante milenios, en los cuales evolucionó partiendo de arados totalmente de madera arrastrados por animales e incluso por seres humanos.

Entre las dos máquinas de estas ilustraciones hay más de doscientos años de progreso. El arado que vemos aquí arriba, aunque primitivo, ya es





sola pasada una zona de hasta dieciocho metros de ancho. Están cada vez más difundidas y se utilizan para la preparación de los campos de cereal antes de la siembra. Estos roturadores, comparados con los arados, dejan una mayor cantidad de sustancia vegetal en superficie, reduciendo, por lo tanto, la erosión. En los últimos años se ha manifestado una clara tendencia a efectuar este tipo de operación ligera, ya que en la mayoría de los casos da buenos resultados, ahorra tiempo y es mejor para la conservación del suelo.

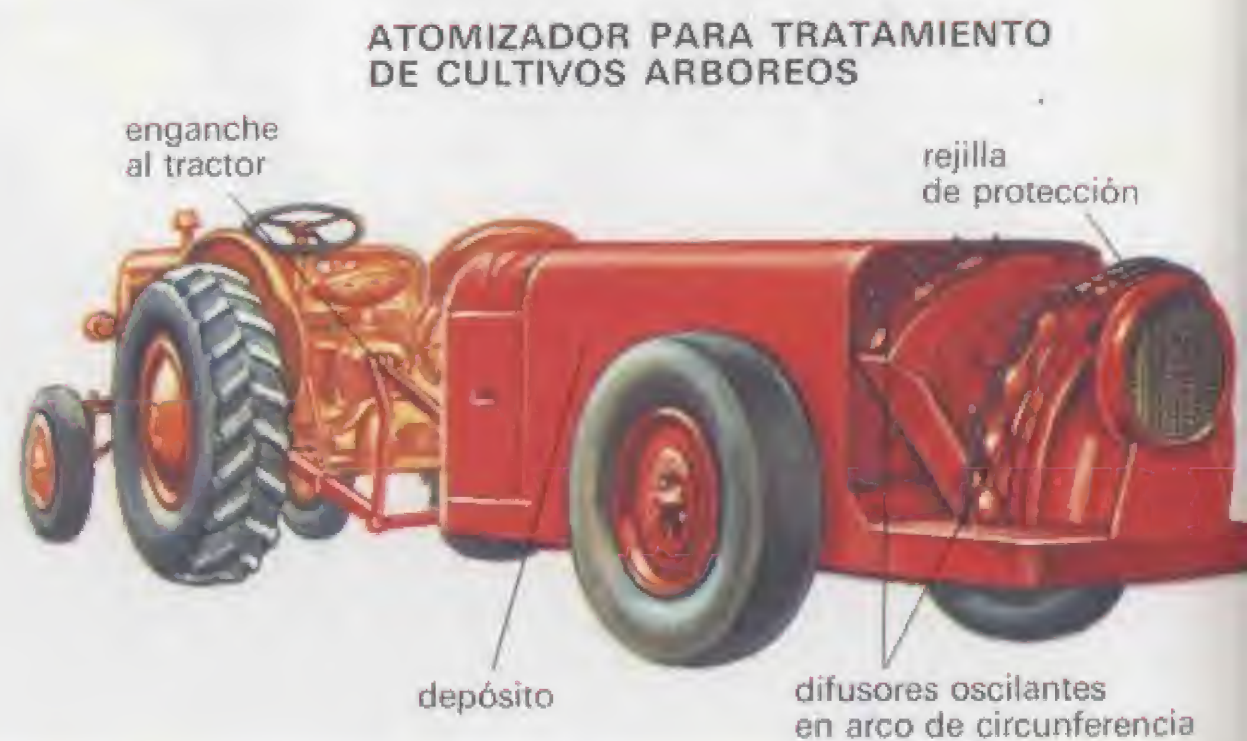
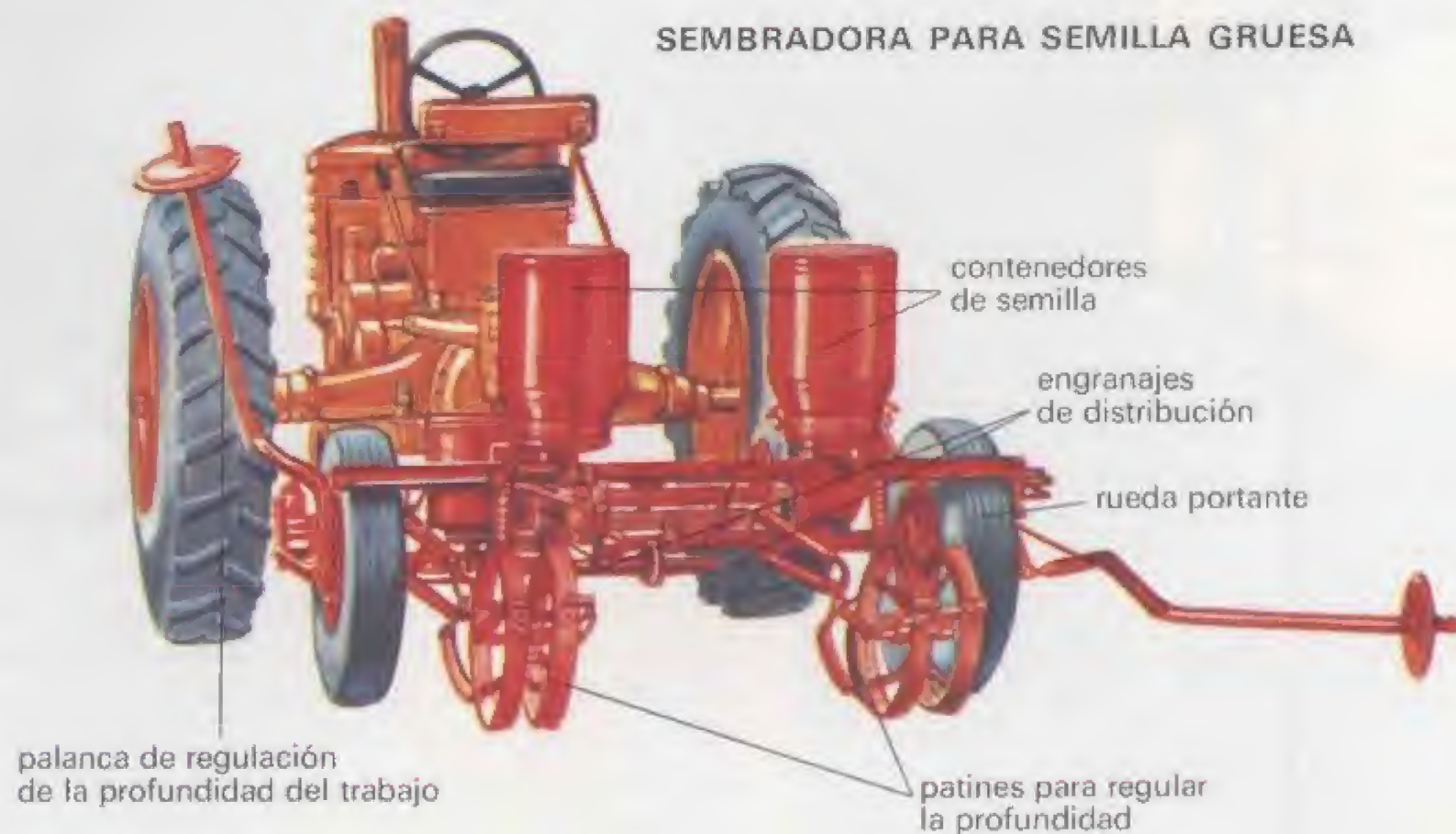
Después de esta primera preparación, se rompen, mediante la *grada*, los gruesos y compactos terrones producidos por el arado. La grada dispone de muchos y puntiagudos dientes de acero o de discos que desmenuzan los terrones y alisan y nivelan la superficie para la sementera. En algunos casos, simultáneamente con las gradas, se conectan distribuidores de fertilizantes, insecticidas y herbicidas.

Sembradoras Durante siglos, la siembra se ha efectuado manualmente; sin embargo, hoy en día en la mayoría de los casos se utilizan unas máquinas llamadas *sembradoras*. Estas disponen de unos accesorios en forma de tenedor que deshacen los surcos de los arados o bien de unos discos rotatorios que producen agu-

jeros en el suelo. Tienen, además, una serie de distribuidores de simiente que depositan las semillas en los surcos, y otro mecanismo que las recubre de tierra seguidamente. Estas máquinas pueden sembrar un número muy elevado de hileras de semillas de una sola pasada. Muchas de ellas son tan anchas que están construidas de forma que puedan plegarse algunas de sus partes para poder circular por carretera. Las sembradoras van generalizándose y perfeccionándose, a la vez que ganan en capacidad y versatilidad

(aptitud para diversos tamaños de semillas, distinta profundidad de siembra, densidad de siembra variable, etcétera).

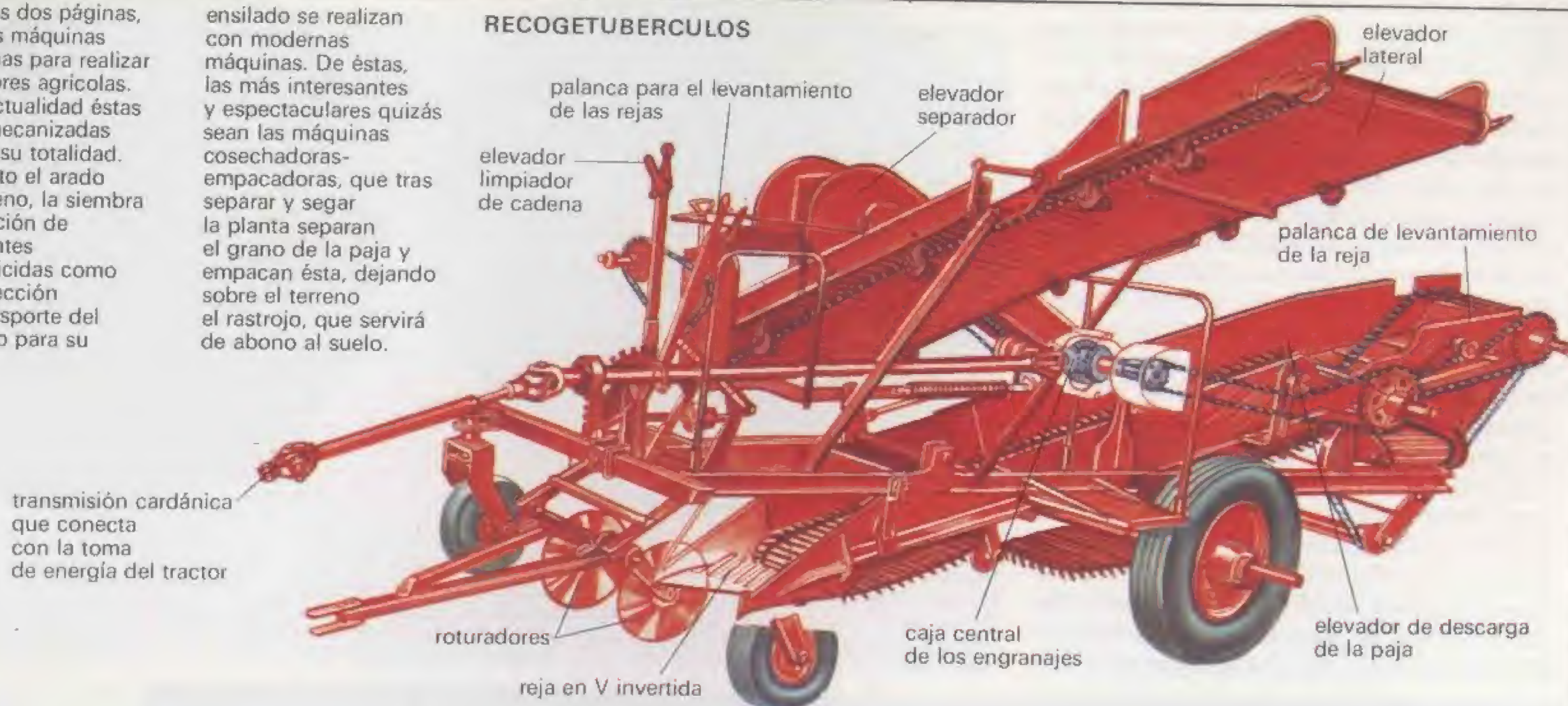
Máquinas para la siega La siega se efectúa mediante una serie de máquinas especializadas. La *cosechadora* se utiliza para recolectar la mayor parte de los cereales y semillas. Esta máquina puede realizar una gran variedad de trabajos. Primero corta los tallos de las plantas y luego trilla —es decir, separa el grano de la paja—. Hay cosechadoras que dejan la paja en el



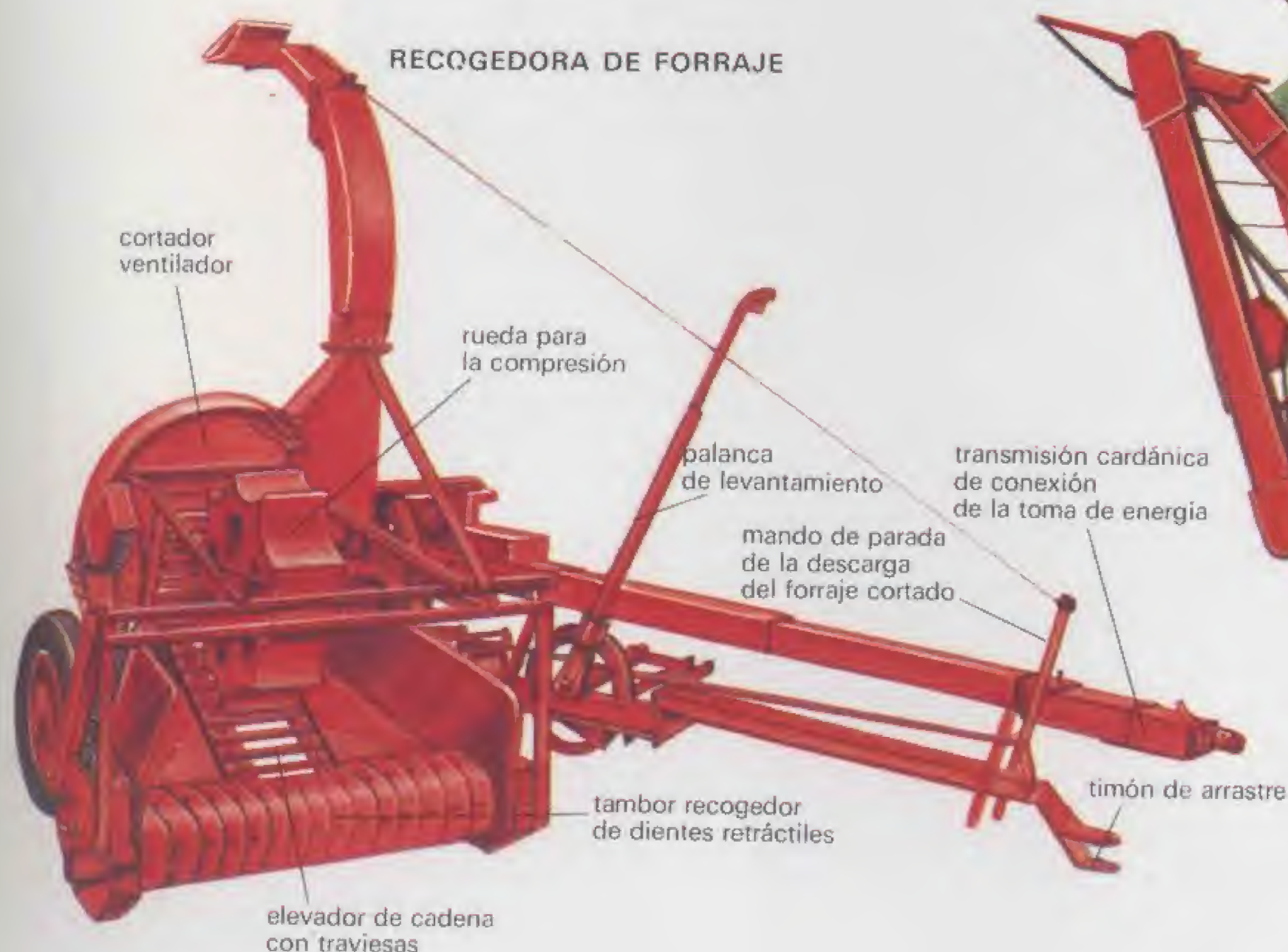
En estas dos páginas, algunas máquinas modernas para realizar las labores agrícolas. En la actualidad éstas están mecanizadas casi en su totalidad. Así, tanto el arado del terreno, la siembra y la adición de fertilizantes e insecticidas como la recolección y el transporte del producto para su

ensilado se realizan con modernas máquinas. De éstas, las más interesantes y espectaculares quizás sean las máquinas cosechadoras-empacadoras, que tras separar y segar la planta separan el grano de la paja y empaican ésta, dejando sobre el terreno el rastrojo, que servirá de abono al suelo.

RECOGETUBERCULOS



RECOGEDORA DE FORRAJE



CARGADOR DE PAJA EMPAQUETADA



terreno mientras que recogen el grano y lo envían, mediante un chorro de aire, a un contenedor. Cuando el contenedor está lleno, el grano es llevado a los camiones que lo transportan a los almacenes. Muchas cosechadoras modernas ya no son arrastradas por tractores, sino que disponen de propulsión autónoma. Efectivamente, la maquinaria de propulsión autónoma tiene cada vez más aceptación entre los agricultores, ya que es más manio-brable, más rápida y su consumo de carburante es menor.

La *recogedora-desgranadora* para el maíz es otra máquina utilizada en la recolección. Esta máquina corta las panochas,

quita la envoltura y desgrana el maíz en un único y rápido proceso.

Hace tiempo, la siega del heno era un trabajo muy fatigoso que comprendía el corte de la hierba, la recogida con rastrillos y el amontonamiento, operaciones todas ejecutadas manualmente. Hoy en día, sin embargo, todo este trabajo manual ha sido eliminado, ya que dichas operaciones se efectúan empleando tractores y otra maquinaria. Actualmente se está tratando de desarrollar máquinas agrícolas capaces de ejecutar diferentes operaciones al mismo tiempo, y así disminuir los altos costes de la mano de obra. Además, las más recientes máquinas agrícolas son

muy potentes. Por ejemplo: hace sólo treinta años los motores de 30 CV de los tractores estaban considerados como verdaderas maravillas; actualmente los tractores modernos pueden disponer de una potencia de hasta 300 caballos de vapor.

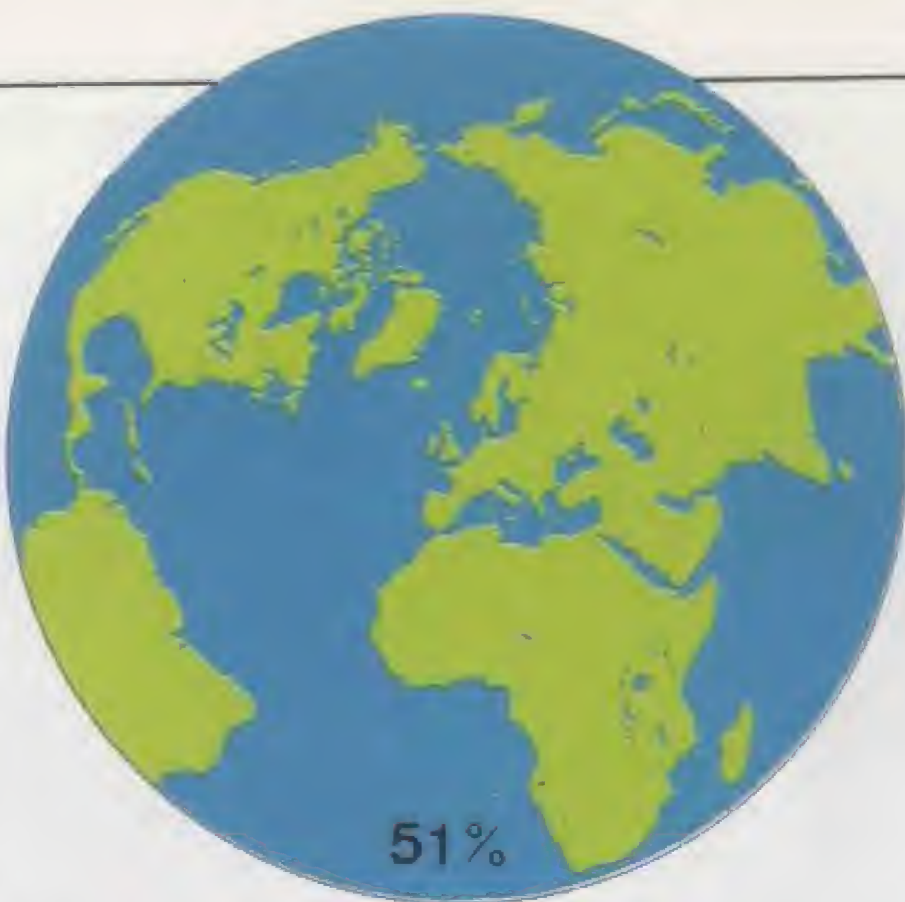
Las modernas máquinas agrícolas están dotadas de sofisticadas instalaciones hidráulicas que ahorran energía y permiten un mayor control. Los datos que se pueden leer en la cabina comunican al conductor desde el régimen del motor y el consumo de carburante hasta el número de semillas sembradas en un campo.

Véase **Agricultura; Cosechadora; Tractor**

Mar

En el Antiguo Testamento se habla de lluvias que cayeron ininterrumpidamente durante cuarenta días y cuarenta noches, inundando completamente la Tierra. La ciencia mantiene hoy día una teoría diferente, pero no menos sugerente: durante siglos se sucedieron fuertes temporales de lluvias, que finalmente terminaron llenando la enorme depresión de la corteza terrestre que constituye el fondo de los mares. Ya que nada se crea ni se destruye, sino que se transforma continuamente, la cantidad de agua en el primitivo mar que se formó sobre nuestro planeta debió de ser semejante a la actual.

El agua está en constante movimiento y se presenta bajo formas diferentes. Es hielo en las zonas polares, humedad en el aire, y agua líquida en los ríos subterráneos y superficiales; asimismo, y en una cantidad mucho mayor, también es líquida la gran masa de agua a la que termi-

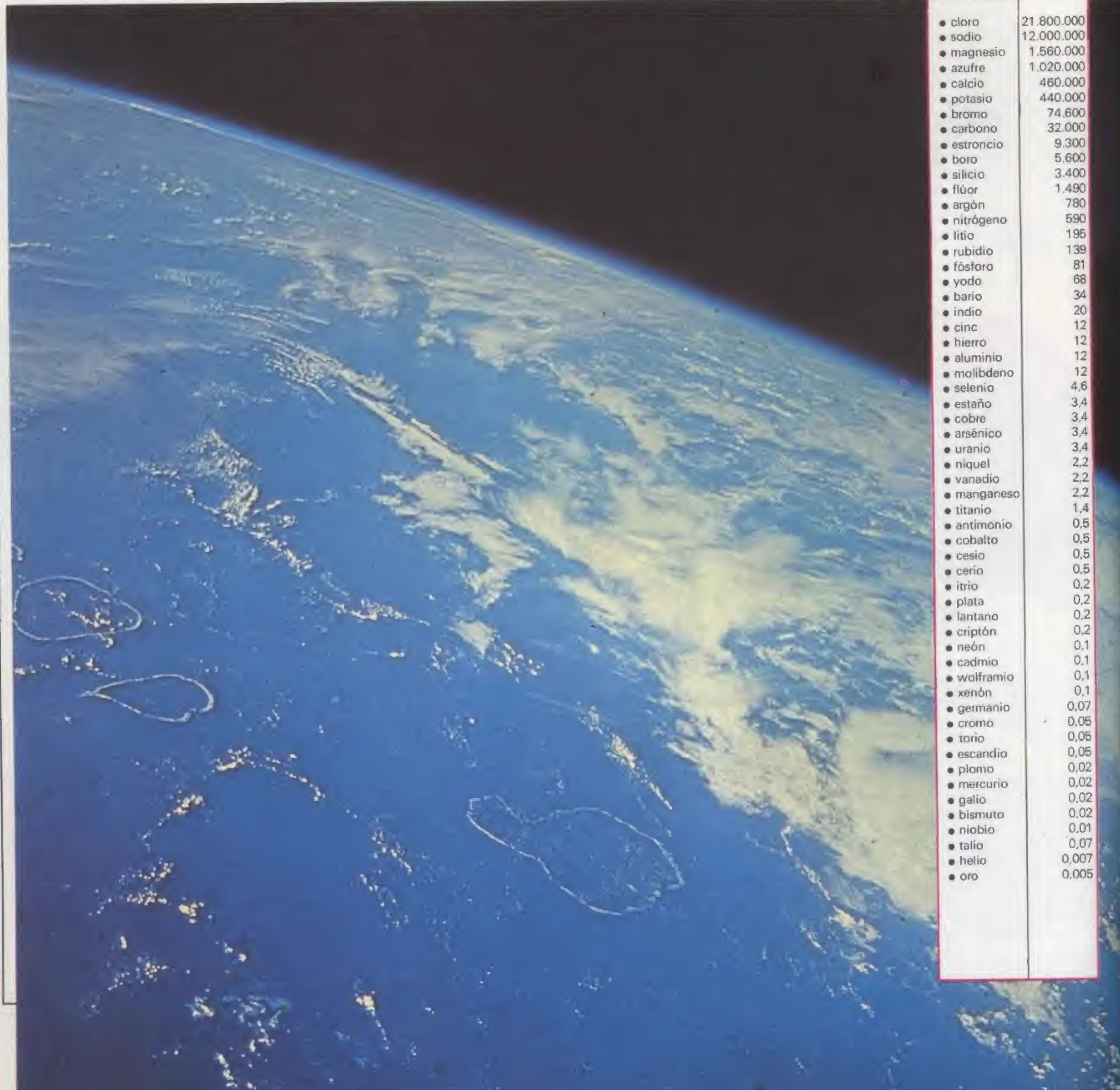


Arriba, distribución de las tierras y de los océanos y mares. Las tierras están agrupadas casi en su totalidad en un solo

hemisferio (hemisferio Norte). Abajo, foto de costas y océanos tomada desde satélite. Las imágenes desde el espacio son de gran



ayuda para la Oceanografía. A la derecha, contenido de sales minerales en el agua de mar.



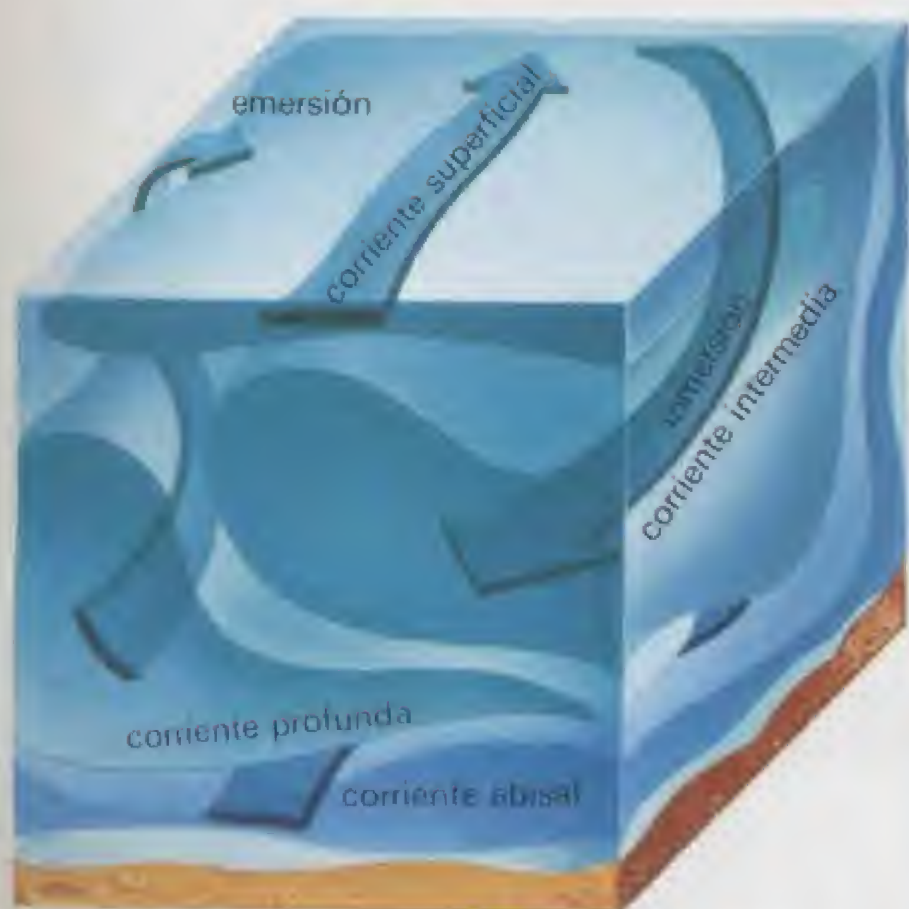
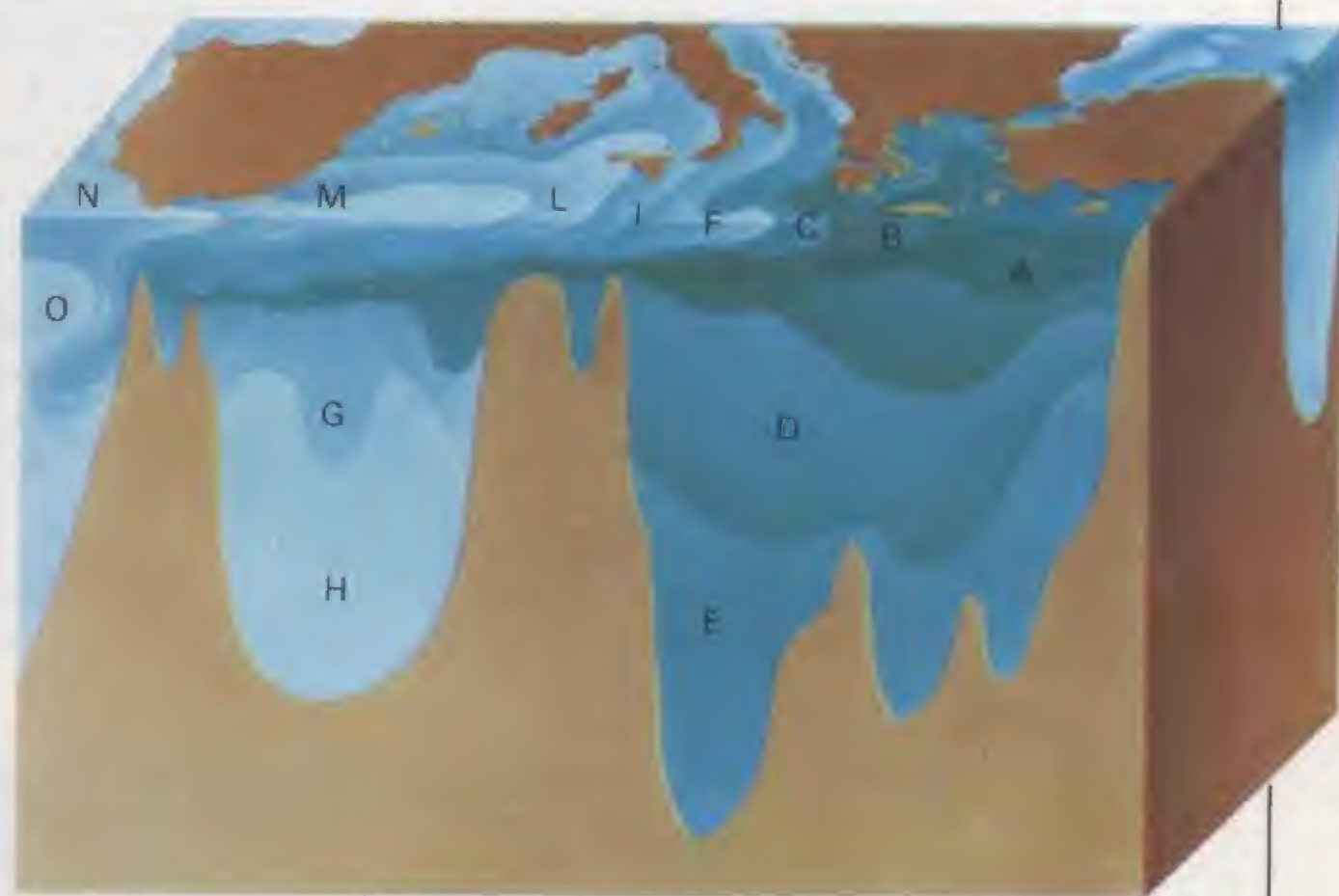
Elementos presentes en el agua de mar	tm por km ³
● cloro	21.800.000
● sodio	12.000.000
● magnesio	1.560.000
● azufre	1.020.000
● calcio	460.000
● potasio	440.000
● bromo	74.600
● carbono	32.000
● estroncio	9.300
● boro	5.600
● silicio	3.400
● flúor	1.490
● argón	780
● nitrógeno	590
● litio	195
● rubidio	139
● fósforo	81
● yodo	68
● bario	34
● indio	20
● cinc	12
● hierro	12
● aluminio	12
● molibdeno	12
● selenio	4,6
● estaño	3,4
● cobre	3,4
● arsénico	3,4
● uranio	3,4
● níquel	2,2
● vanadio	2,2
● manganeso	2,2
● titanio	1,4
● antimonio	0,5
● cobalto	0,5
● cesio	0,5
● cerio	0,5
● itrio	0,2
● plata	0,2
● lantano	0,2
● criptón	0,2
● neón	0,1
● cadmio	0,1
● wolframio	0,1
● xenón	0,1
● germanio	0,07
● cromo	0,05
● torio	0,05
● escandio	0,05
● plomo	0,02
● mercurio	0,02
● galio	0,02
● bismuto	0,02
● niobio	0,01
● talio	0,07
● helio	0,007
● oro	0,005

SUPERFICIE Y PROFUNDIDAD DE ALGUNOS MARES	Superficie (millones de km ²)	Prof. media	Prof. máxima	SUPERFICIE Y PROFUNDIDAD DE ALGUNOS MARES	Superficie (millones de km ²)	Prof. media	Prof. máxima
OCEANO PACIFICO	166,24	4.188	11.022	Golfo de México	1,54	1.512	
Mar del Coral	4,79	2.394		Mar del Norte	0,58	93	
Mar de la China septentrional	3,68	1.060		Mar Negro	0,51	1.191	
Mar de Bering	2,26	1.492		Mar Báltico	0,38	101	
Mar de Ojotsk	1,39	973		Mar de Irlanda	0,10	60	
Mar Amarillo	1,20	272		OCEANO INDICO	73,43	3.872	7.455
Mar de Arafura	1,04	197		Mar Rojo	0,45	538	
Mar del Japón	1,01	1.667		Golfo Pérsico	0,24	100	
OCEANO ATLANTICO	85,62	3.736	9.219	OCEANO ARTICO	9,49	1.330	5.449
Mar Caribe	2,75	2.491		Bahía de Hudson	1,23	491	
Mar Mediterráneo	2,51	1.502		Bahía de Baffin	0,69	861	

nan confluyendo todos los cursos de agua: el mar.

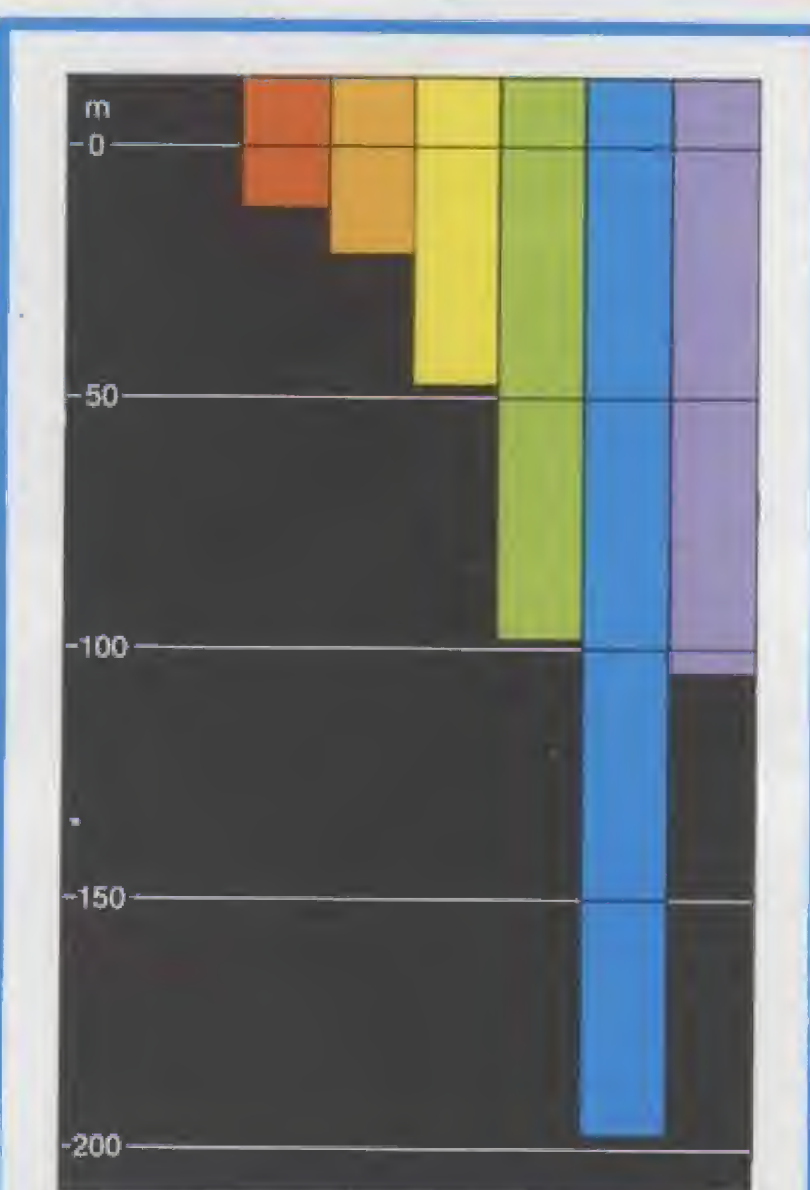
Origen de los mares Las teorías sobre el origen de nuestro planeta se diferencian en muchos aspectos, pero coinciden en cuanto a la afirmación de que, en las primeras fases de su evolución, la Tierra era una masa de material en estado de fusión, a muy alta temperatura. En estas condiciones el agua sólo podía existir en forma de vapor, que envolvería al planeta como una nube densa y oscura a través de la cual no podía penetrar la luz solar. Muy lentamente, a lo largo de millones de años, la Tierra fue enfriándose progresivamente a la vez que disminuía de tamaño. Entre los más pesados de sus elementos, el hierro se concentró en el centro del pla-

A la derecha, salinidad del Mediterráneo en tantos por mil: A, más de 39; B, 38,75 a 39; C, 38,5 a 38,75; D, 36,65 a 38,75; E, 38,50 a 38,65; F, 38,0 a 38,4; G, 38,4 a 38,5; H, 38,0 a 38,4; I, 37,75 a 38,0; L, 37,0 a 37,5; M, 36,5 a 37,0; N, 36,0 a 36,5; O, 35,5 a 36,0. La salinidad de este mar disminuye ligeramente desde la superficie hasta una profundidad de 50 metros, para después aumentar hasta los 500 metros y disminuir a profundidades mayores. Arriba, tabla donde se comparan los principales mares y océanos.



En el esquema que se representa sobre estas líneas se muestran las complejas relaciones entre la circulación de las corrientes de superficie y las profundas, teniendo en cuenta todos los fenómenos que provocan el movimiento continuo de las aguas del

océano, es decir, la gravedad, la rotación terrestre, el efecto de Coriolis, las radiaciones solares, la temperatura y la salinidad. El esquema se refiere a mares muy profundos, ya que en aguas someras algunas de las corrientes indicadas pueden faltar.



Esquema de la penetración de la luz en profundidad en las aguas marinas. La penetración es selectiva: las componentes roja, naranja y violeta son las primeras en ser frenadas. La turbidez disminuye la penetración, mientras que la transparencia la favorece y ayuda al desarrollo de formas de vida diversas a distinta profundidad.

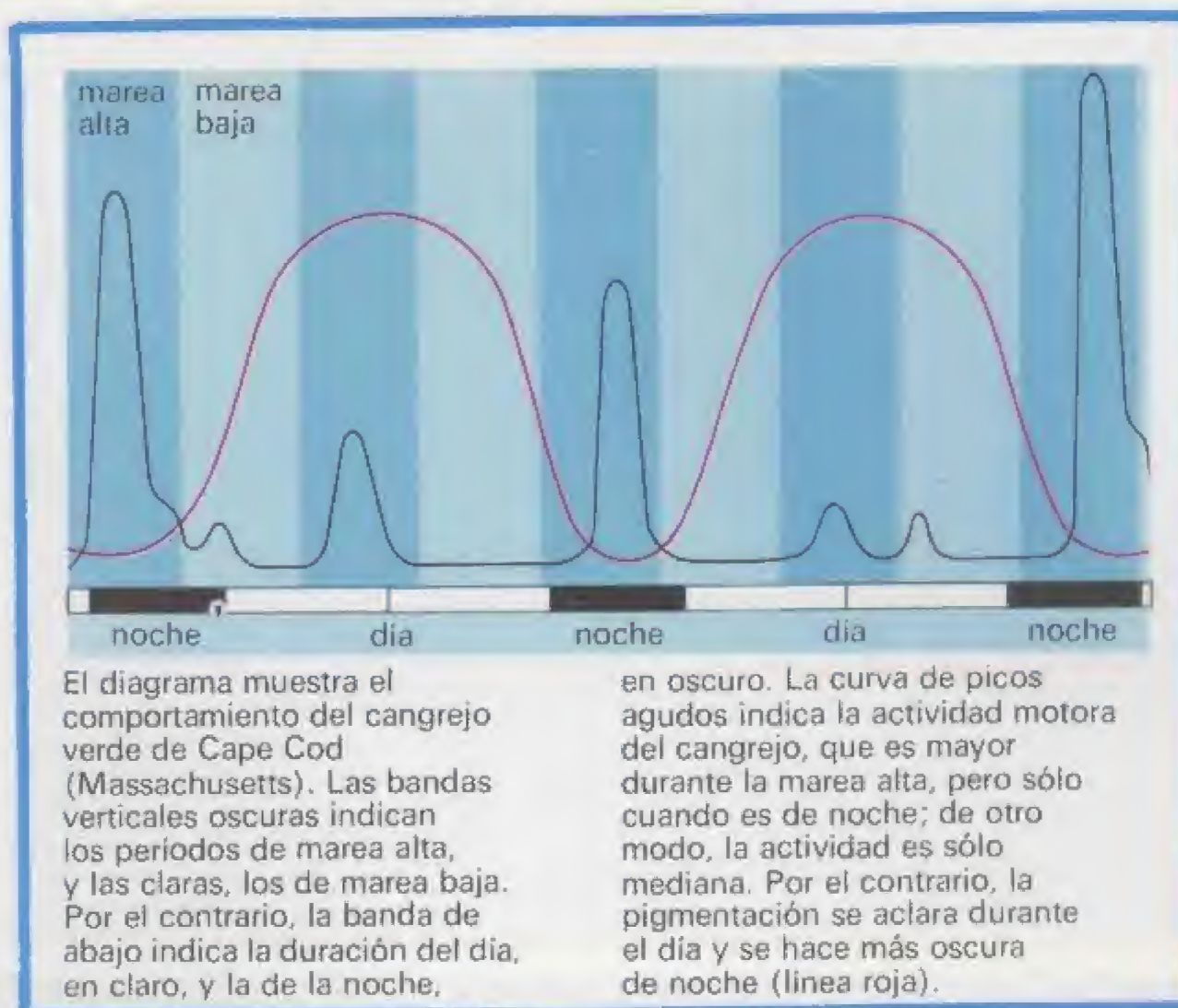
neta y formó el núcleo, que actualmente es todavía, en parte, líquido. Alrededor de este núcleo interno se fue formando, a menor temperatura, un manto (*sima*) sólido, aunque capaz de deformarse plásticamente, constituido en su mayor parte por olivino. Finalmente, alrededor del manto y como resultado de la continua diferenciación geoquímica, se fue formando una delgada capa de granito que constituyó la corteza (*sial*), dividida a su vez en un conjunto —variable en el tiempo— de placas rígidas pero móviles. El movimiento de estas placas tiene lugar gracias a la existencia de una zona fluida en la parte superior del manto sobre la que resbalan, y es el responsable de los grandes elementos estructurales que forman la superficie del planeta, tales como cadenas montañosas, cuencas oceánicas, continentes, volcanes, etcétera. Mientras el planeta estuvo suficientemente caliente, las placas tu-

vieron una gran movilidad, pero con el enfriamiento de la Tierra se volvieron más estables. Finalmente, cuando la temperatura de la superficie descendió por debajo de los 1.000-800 °C, las grandes masas de vapor de agua se fueron concentrando en la atmósfera y con el progresivo enfriamiento cayeron prolongadamente sobre la Tierra en forma de grandes lluvias, llenando las enormes depresiones de la corteza terrestre creadas por la dinámica de las placas y formando las primeras extensiones oceánicas.

El fondo de los océanos Los científicos han confirmado que las placas de corteza terrestre sobre las que se encuentran los continentes y los océanos no son hoy día totalmente inmóviles, sino que continúan deslizándose lentamente. Las masas continentales están rodeadas por las plataformas continentales, que son su prolongación, hasta una cierta distancia mar adentro. A partir del límite de las plataformas, la superficie desciende rápidamente hacia las profundidades abisales alteradas únicamente por las cordilleras dorsales submarinas, donde el manto caliente asciende hasta la superficie generando un intenso vulcanismo submarino. Estas dor-

sales constituyen el límite entre las placas adyacentes, que se separan entre sí. El espacio creado lo ocupó el magma que asciende del manto subyacente. La más grande de dichas dorsales recorre el centro del océano Atlántico, lo que hace suponer que en tiempos pasados los cuatro continentes que baña estuvieron unidos. Su gradual alejamiento persiste todavía. Otra de las grandes dorsales submarinas se encuentra bajo el océano Índico, lo que sugiere que la India actual estuvo en un tiempo lejano cercana al Polo Sur, y que fue siendo empujada hacia el norte, contra Asia, durante un largo período geológico. De hecho, el movimiento es muy lento y, según las estimaciones de los científicos, oscila entre 1 y 5 cm al año. Este fenómeno nos da una idea aproximada de la disposición de los océanos y continentes en las eras geológicas más remotas.

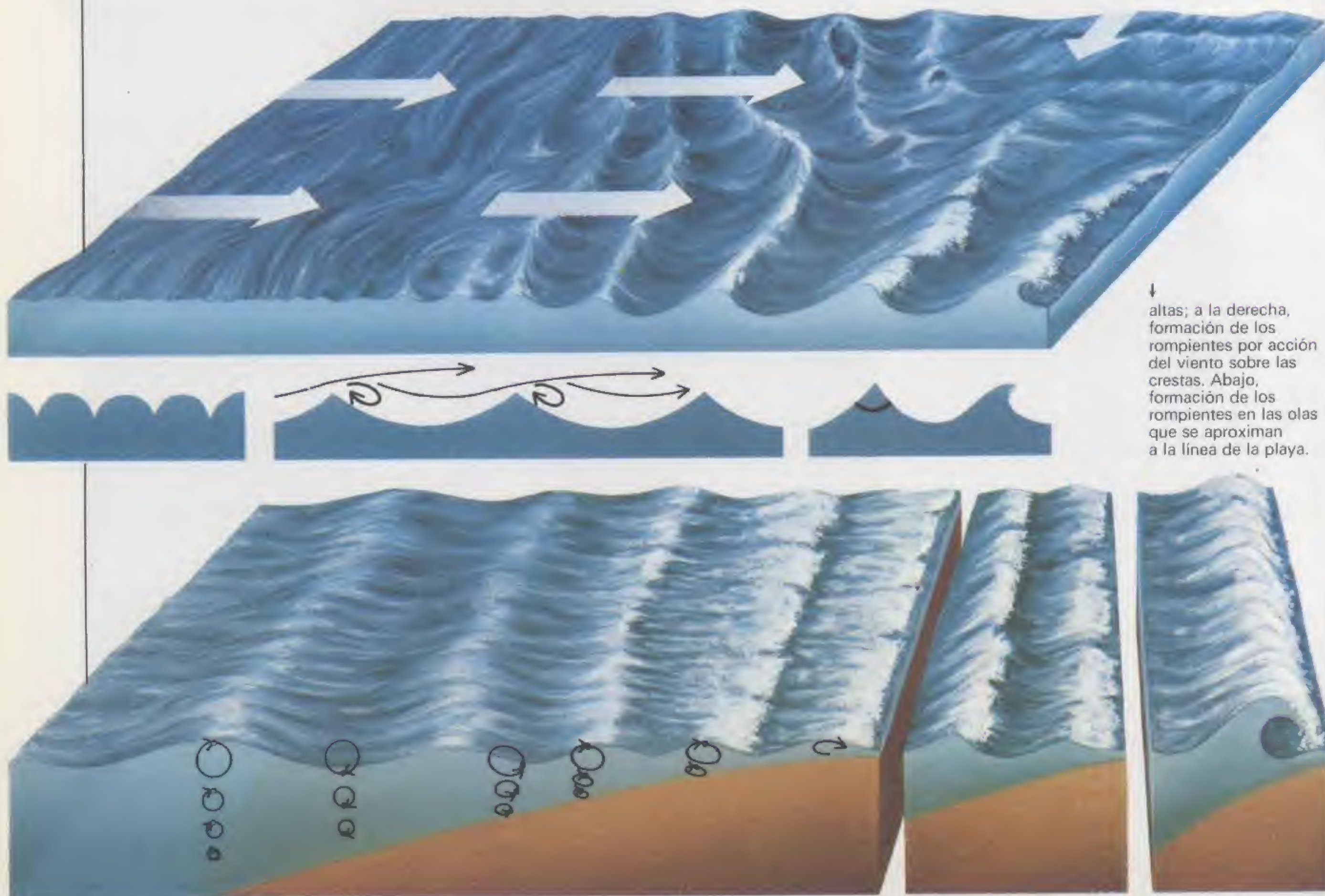
Si pudiésemos emprender un viaje desde las zonas litorales hacia los fondos marinos, encontraríamos un paisaje mucho más variado y complejo que el que se encuentra sobre los continentes. La primera etapa nos llevaría a la *plataforma continental*, una superficie poco profunda y escasamente inclinada que rodea el continente y cuya anchura puede variar desde unos pocos a miles de kilómetros, como por ejemplo bajo el mar de Barents. Durante las eras glaciares estas extensiones estuvieron en gran parte emergidas, porque un importante volumen de agua oceánica pasó a estar en forma de hielo formando grandes casquetes glaciares, y por



ello la superficie de las aguas descendió en término medio unos 120 metros. Por el contrario, en otros períodos geológicos, el nivel del agua del mar era tan alto que incluso quedaron sumergidas extensas zonas de Europa y Norteamérica. Los leves declives de la plataforma continental albergan la más rica población marina, y son generalmente lugares donde hay abundancia de pesca. La terminación de la plataforma continental es a veces bastante brusca, con fuertes declives que descienden hacia las regiones abisales, suavizán-

Bajo estas líneas, tres estereogramas: el superior muestra el modo en que el viento levanta olas en el mar. Empezando por la izquierda, se ve cómo el viento al principio levanta sólo olas de pequeña altura. Al prolongarse su acción sobre una superficie cada vez más grande, las olas se levantan y alcanzan mayor altura y longitud. Finalmente,

el empuje del viento sobre las crestas termina provocando la ruptura de las olas. Los rompientes que así se forman son peligrosos para la navegación porque exponen a los buques al choque de masas de agua en movimiento horizontal. Si en un extremo de la cuenca sobre la que sopla el viento, éste cambia de dirección y provoca un oleaje perpendicular al anterior, la interferencia de ambos sistemas de olas puede provocar igualmente rompientes peligrosos. La relación entre la amplitud de la superficie de agua sobre la que sopla el viento y su velocidad determina con precisión la "fuerza del mar", es decir, la altura y la longitud de las olas que se forman. Los navegantes disponen de las correspondientes tablas, así como los meteorólogos y los constructores de obras de defensa marítima. En el centro, distintos perfiles de ola provocados por el viento: a la izquierda, pequeños encrepamientos iniciales; en el centro, olas más largas y más





dose en profundidad. Constituyen el llamado *talud continental*, cortado por frecuentes cañones submarinos que son la prolongación de los ríos superficiales y por los que descienden grandes masas de sedimentos finos en forma de corrientes de turbidez. Estas, con velocidades de

Actualmente se conoce bastante bien la morfología de los fondos marinos gracias a las exploraciones realizadas por las naves oceanográficas así como por submarinos especialmente diseñados para las grandes profundidades. Igualmente, múltiples instrumentos automáticos han contribuido en gran medida a esta exploración: entre ellos destacan las telecámaras con potentes lámparas que permiten ver directamente los fondos marinos. Asimismo, métodos especiales de dragado permiten recoger muestras de todo tipo de sedimentos y rocas del fondo. Veamos los dibujos de esta página. Desde arriba, en 1) llanura abisal: está formada por sedimentos muy finos que han alcanzado el fondo a lo largo de grandes períodos de tiempo; en una gran parte han sido transportados por corrientes submarinas abisales. Pueden mostrar a veces en grandes extensiones fenómenos de enriquecimiento en metales de interés, como manganeso. Bajo estos sedimentos se encuentran las rocas basálticas de la corteza oceánica de nueva formación. En 2) el talud continental, consistente en una pendiente gradual que enlaza la plataforma con la zona abisal. A lo largo de este talud, que es a veces escarpado, y siempre pendiente, se encuentran cañones excavados por corrientes de turbidez por los que se canalizan hacia el fondo los sedimentos

acumulados sobre el borde de la plataforma continental en depósitos inestables. En 3), base del talud donde se ve la desembocadura de un cañón con el abanico de sedimentos transportados por las corrientes de turbidez. La plataforma continental constituye el 8,5% de todos los fondos oceánicos; es muy uniforme en las zonas árticas, donde los glaciares la han aplanado y surcado localmente. Sobre los fondos abisales, a una profundidad de 4.000 a 5.000 metros, se elevan las cadenas centro-oceánicas, donde la actividad volcánica forma la nueva corteza (4). En 5), las fosas, donde las placas oceánicas convergen introduciéndose una debajo de otra. En las fosas se llega a alcanzar las máximas profundidades. En el dibujo 6), las fallas transformantes, que cortan perpendicularmente las dorsales centrooceánicas. En 7), las cumbres más altas de estas dorsales emergen a la superficie y constituyen islas volcánicas. En 8), las mismas, cuando los movimientos verticales las han vuelto a sumergir, orladas por un anillo de arrecifes madrepóricos que constituye el atolón. En 9), los guyot, especie de volcanes con cima en forma de atolón, actualmente sumergidos a grandes profundidades, probablemente a causa del descenso rápido del fondo marino; y, finalmente, en 10), un volcán aislado, todavía activo, que emerge de la superficie del mar.

hasta más de 70 km/hora, depositan las partículas suspendidas en grandes abanicos de sedimentos que se extienden hasta más de 500 km a partir de la base del talud. En otros casos se pasa directamente de la costa a regiones muy profundas, sin plataforma continental intermedia: son las grandes *fosas oceánicas*. Estas se localizan en zonas de convergencia de dos placas, allí donde una de ellas se introduce bajo la otra. La fosa oceánica más profunda se extiende a lo largo del borde occidental del océano Pacífico, bordeando las islas Filipinas; en esta fosa se alcanzan aproximadamente los 11.600 metros bajo el nivel del mar. Como referencia, piénsese que el punto más alto de la corteza terrestre, el Everest, se eleva a 8.848 metros sobre el nivel del mar.

El movimiento de las placas litosféricas demuestra cómo la corteza terrestre sigue un ciclo regenerativo destrucción-construcción, como cualquier otro sistema natural. El paisaje de los grandes fondos marinos es muy variado. Además de las dorsales submarinas que se elevan varios kilómetros sobre el fondo, hay también abruptos escarpes y elevaciones transversales que resultan del movimiento a lo largo de las llamadas *fallas transformantes*. Estas provocan desplazamientos horizontales de unos bloques respecto a otros y dan lugar a que el trazado de las dorsales no sea continuo sino notablemente quebrado. Entre fallas consecutivas hay extensas llanuras en las que se acumulan depósitos de sedimentos arcillosos muy finos, transportados desde los continentes hasta estas profundas (5 km) y distantes regiones submarinas por la acción, primero, de corrientes de turbidez en el talud y, después, de corrientes profundas.

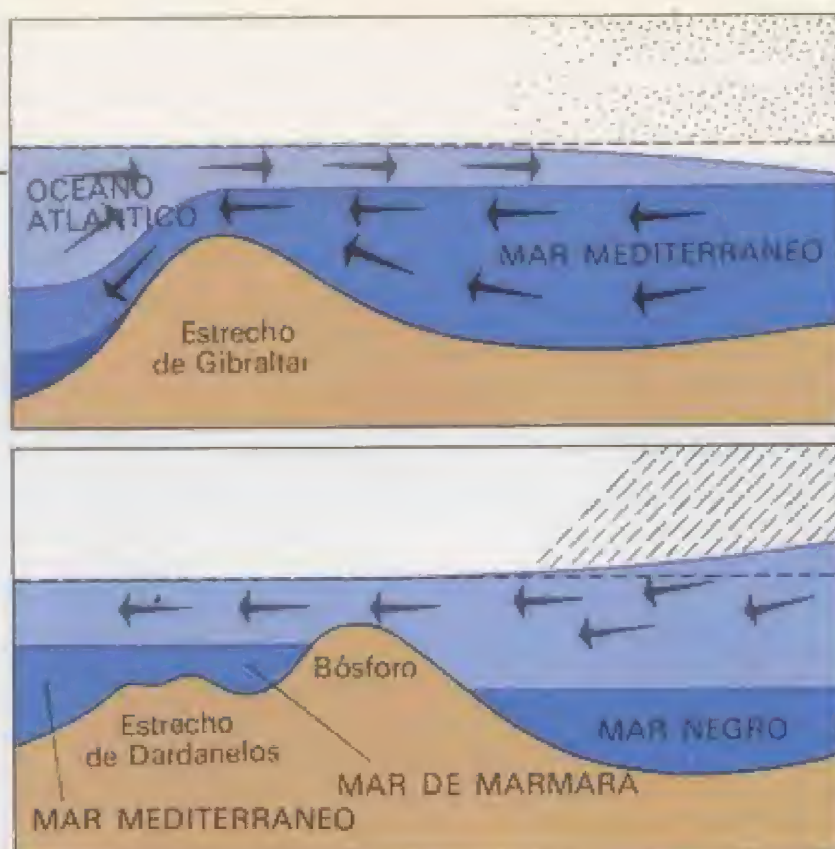
Volcanes oceánicos El fondo oceánico está formado en su mayor parte por rocas volcánicas arrojadas por los volcanes submarinos. A veces estos volcanes llegan a ser tan altos que emergen sobre la superficie del mar, constituyendo islas de vegetación exuberante, en las regiones tropicales, o bien yermos paisajes rocosos, en altas latitudes. Estas islas aparecen con frecuencia lejos de las costas, en regiones oceánicas profundas, sobre cuyo fondo se elevan varios kilómetros —a manera de gigantes pináculos— hasta alcanzar la superficie. Tal es el caso espectacular de las islas Hawaii —en pleno Pacífico central— o de las Azores e islas Canarias —en el Atlántico—, cuyas laderas submarinas descienden vertiginosamente hasta los 3-5 km de profundidad de las regiones abisales.



En las cálidas aguas del Pacífico sur, en torno a las islas volcánicas, proliferan pequeños animales invertebrados que segregan coloreados esqueletos calcáreos: el coral, que se acumula en gran cantidad sobre las paredes inclinadas del volcán. Con el paso del tiempo estos volcanes pueden llegar a hundirse lentamente y desaparecer bajo la superficie del mar. Sin embargo, el anillo de coral adosado a la ladera del volcán continúa viviendo y creciendo hacia arriba. El resultado es la formación de un atolón. Este mecanismo, ya enunciado por Darwin el siglo pasado, tiene su origen en los movimientos verticales, en este caso de subsidencia, que afectan a la corteza terrestre.

El mismo fenómeno se puede llegar a producir en aguas más frías, y también puede darse el caso de que el volcán resulte truncado en su parte emergida por la acción del oleaje, que labra así una verdadera superficie de erosión plana. El hundimiento rápido de estos volcanes arrasados genera un tipo de relieves submarinos descubierto por Arnold Guyot, geólogo del siglo XIX, y que en su honor recibe el nombre de *guyots*. La mayoría se localiza en el Pacífico suroeste e indica una importante y rápida subsidencia en esta zona.

Agua marina y vida sobre la Tierra El volumen de agua que ocupa las inmensas depresiones oceánicas es tal que la superficie de éstas representa el 71% del área del planeta. Curiosamente, este valor es también el del contenido de agua en el cuerpo humano. Entre los fenómenos relacionados con la presencia de agua se encuentra el del origen de la vida, que probablemente tuvo lugar hace unos 3.500 millones de años sobre la superficie de la Tierra. Desde entonces, la diversificación de la vida, en términos de evolución, ha generado más de un millón de especies



Abajo, mapa del Mediterráneo en el que se muestra el movimiento de las

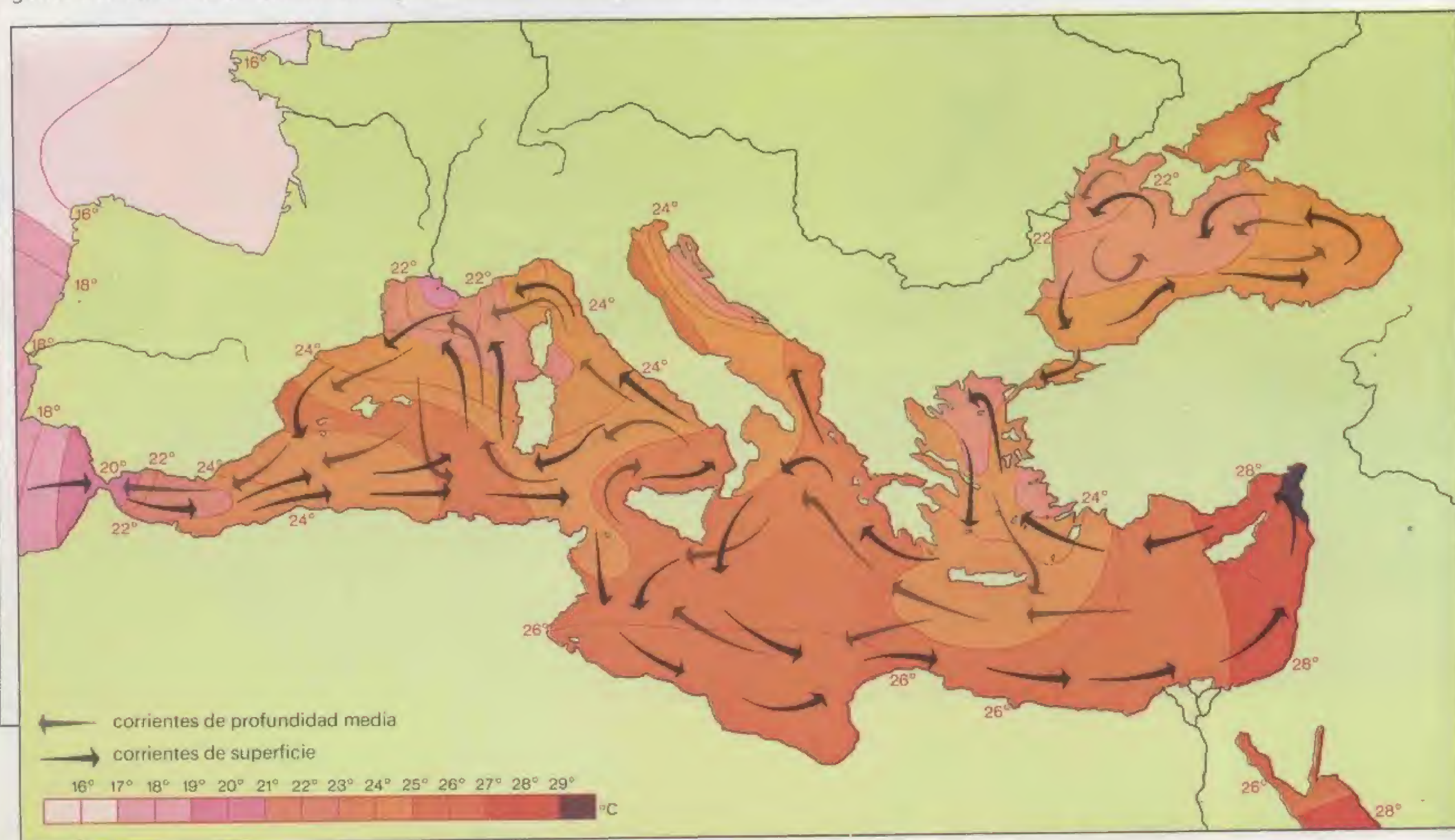
corrientes superficiales y el de las de profundidad media. Sobre estas líneas, →

vivientes diferentes, muchas de las cuales viven en el mar. Actualmente se conocen 20.000 especies de peces, y los científicos descubren unas 100 especies nuevas cada año. La mayor parte de la vida marina se desarrolla en la capa de agua próxima a la superficie y a lo largo de la plataforma continental, ya que son estas las zonas en donde la penetración de los rayos solares permite a las algas y a otros vegetales marinos producir material orgánico mediante la fotosíntesis. Las plantas son el alimento básico de la cadena trófica: las algas del fitoplancton sirven de alimento al zooplancton, que a su vez es devorado por los pequeños peces y así sucesivamente. El hombre, naturalmente, está al final de esta cadena ascendente y, por su alimentación, depende mucho de los productos del mar. Actualmente el pescado constituye la primera fuente de proteínas animales para más de la mitad de la Humanidad. Más del 90% del agua del océano es más pobre que el agua superficial, aunque hay también formas de vida en las profundidades. Los residuos y detritus orgánicos se depositan lentamen-

te sobre el fondo oceánico, como una lluvia silenciosa; de ellos se alimentan seres con una capacidad especial de adaptación. Los animales que viven en estas zonas frías y oscuras tienen a menudo un metabolismo más bajo que el normal, lo que les confiere una notable longevidad. Pruebas efectuadas con pequeños moluscos extraídos de profundidades superiores a los 3.688 metros muestran que su edad puede llegar a los 250 años, e incluso más. Recientemente los oceanógrafos han descubierto sobre los lechos oceánicos la existencia de abundantes fuentes termales submarinas, en torno a las cuales se instalan complejos ecosistemas. La fuente de la energía vital ya no es la luz solar sino el calor de origen endógeno y complicados procesos químicos debidos a la interacción de estas aguas con las aguas más frías oceánicas y con las rocas que atraviesan en su camino hacia la superficie.

Océanos y climas Quizá el efecto más directo de los océanos sobre nuestra vida cotidiana sea la influencia que ejercen sobre el clima. La bióloga marina Rachel Carson ha llamado al océano el "termostato de la Tierra" y ha proporcionado una detallada descripción de cómo los océanos son la causa de los vientos y de las corrientes de agua que llevan el calor a las regiones frías, y viceversa.

Los océanos actúan como grandes colectores de calor, especialmente en las latitudes ecuatoriales. Cuando transmiten a la atmósfera el calor que contienen, el aire caliente se expande y su presión disminuye, formando lo que llamamos un *centro de baja presión*. En otra región, la masa de aire frío con mayor densidad, llamada *centro de alta presión*, tiende a desplazarse hacia el área de baja presión, en un movimiento que no es otra cosa que el viento. Los meteorólogos han identificado di-

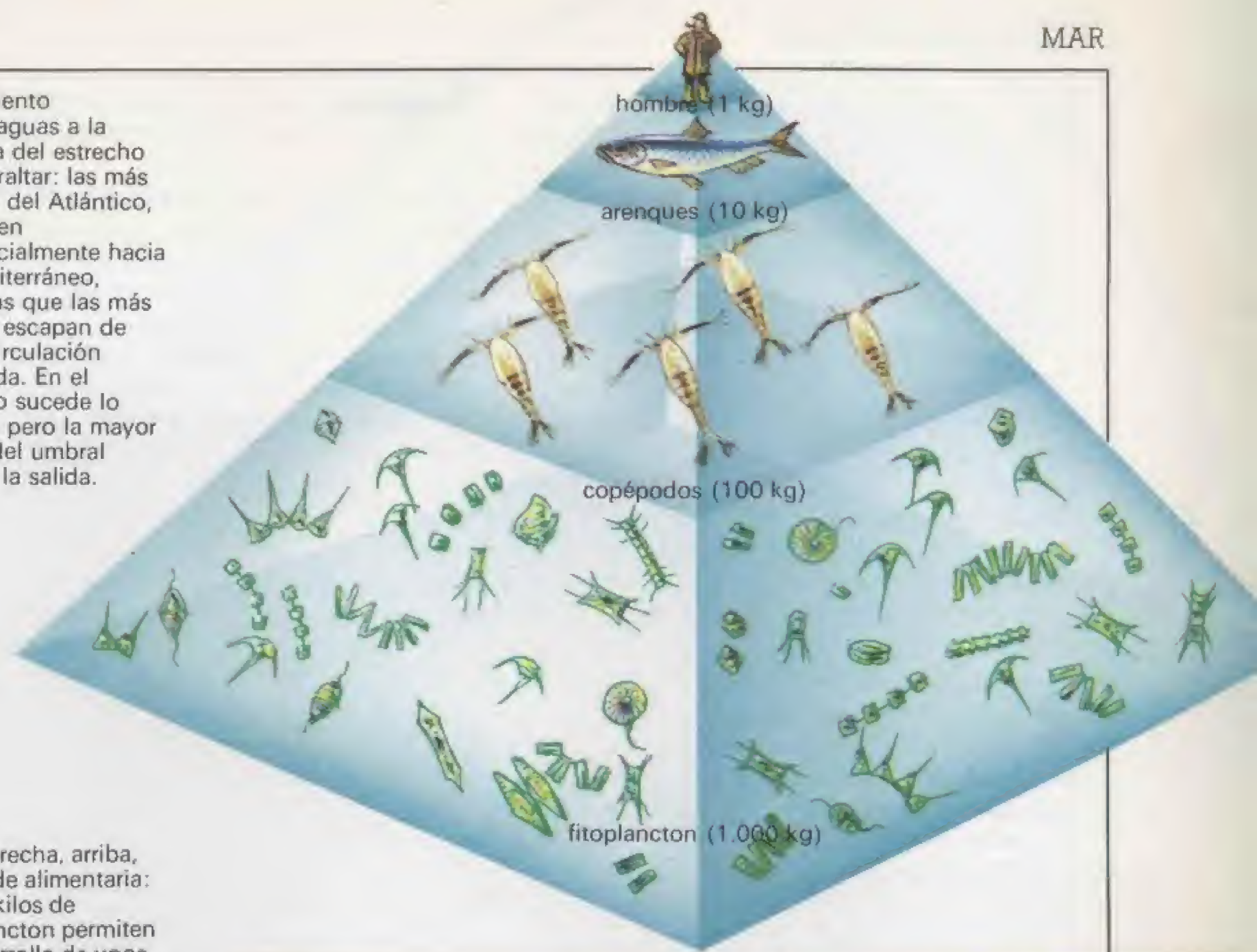


versas áreas de alta presión, con carácter más o menos permanente, sobre los océanos, tanto en el hemisferio Norte como en el hemisferio Sur; estas áreas interactúan con las de baja presión instaladas sobre las cálidas regiones oceánicas tropicales. Esta interacción constituye el origen de la mayor parte de los vientos, que, comportándose normalmente según un modelo determinado, ha permitido el desarrollo de la ciencia meteorológica y de las previsiones del tiempo atmosférico. Un elemento importante para poder predecir el comportamiento del viento es la temperatura oceánica, principalmente porque, a causa del movimiento rotatorio de la Tierra y de la diferencia de temperatura entre los polos y el ecuador, se originan grandes corrientes oceánicas que circulan alrededor del Globo de Este a Oeste, aproximadamente a lo largo del ecuador. Cuando llegan a los continentes, estas corrientes se desvían hacia los polos, generándose una circulación en sentido horario en el hemisferio Norte y antihorario en el hemisferio Sur. Las aguas cálidas transportadas por las corrientes oceánicas templan costas que de otro modo serían muy frías, y contribuyen a crear climas templados en Europa septentrional, en Japón y en la costa noroccidental pacífica de Norteamérica. En su retorno a las latitudes ecuatoriales, estas corrientes llevan agua fría, que, obstaculizando la evaporación del agua del océano y la formación de nubes, favorece la aparición de climas cálidos y áridos como los del África occidental y Sudamérica.

Mares y océanos Los términos *mar* y *océano* se utilizan a menudo indistintamente para referirse a las enormes masas de agua que separan los continentes; y técnicamente hablando, es difícil hacer una diferenciación precisa. A menudo, el término *mar* designa las grandes penetra-

movimiento de las aguas a la entrada del estrecho de Gibraltar: las más ligeras, del Atlántico, discurren superficialmente hacia el Mediterráneo, mientras que las más salinas escapan de él en circulación profunda. En el Bósforo sucede lo mismo, pero la mayor altura del umbral impide la salida.

A la derecha, arriba, pirámide alimentaria: 1.000 kilos de fitoplancton permiten el desarrollo de unos 100 kilos de copépodos, que a su vez sirven para nutrir a 10 kilos de arenques; en el vértice, un solo kilo de alimento llega hasta el hombre. La pirámide es quizá todavía más aguda, es decir, la reducción para cada nivel puede ser aún mayor. También entre los componentes inferiores del plancton existen adaptaciones y asociaciones. Animales inferiores de grandes dimensiones (como las medusas) utilizan su transparencia y su veneno (abajo). El plancton vegetal pone en juego su transparencia.



ciones de los océanos en las áreas continentales en analogía con los términos *golfo*, *bahía* y *ensenada*. Con mayor frecuencia el término *mar* se reserva para las extensiones marinas limitadas por grandes masas de tierra y conectadas con los océanos abiertos mediante estrechos de amplitud variable. Ejemplos muy conocidos son el mar Mediterráneo y el mar Negro, que se encuentran "a caballo" entre Europa, África y parte de Asia; el mar Caribe, entre las dos Américas; y el mar de la China, rodeado por Asia y las grandes alineaciones insulares de las Filipinas y Borneo. Además de los anteriores, que son mares grandes, existe toda una serie de mares más pequeños, desde el mar del Norte, relativamente grande, y que se abre al océano Atlántico, hasta el pequeño estrecho de Bass, que separa Australia de Tasmania. Asimismo, el término *mar* se ha utilizado en algunos casos para designar grandes extensiones lacustres cerradas que no tienen desembocadura directa en otros mares u océanos (como, por ejemplo, el mar Muerto, entre Israel y Jor-

dania). Estos mares total o parcialmente cerrados son menos profundos que los demás y suelen tener una salinidad muy elevada. La salinidad normal de los océanos varía entre un 3,5 y un 3,7%, y es debida al drenaje —a lo largo de miles de millones de años— de sales minerales procedentes de la erosión fluvial de la tierra firme. Los mares de las regiones tropicales, como el mar Rojo y el Mediterráneo, tienen una elevada salinidad a causa de la gran evaporación y la no afluencia de agua fría. El mar Negro, aproximadamente en la misma latitud, posee sin embargo una salinidad muy baja debido a la constante afluencia de agua fría procedente de los ríos de Europa oriental. Asimismo, los mares nórdicos tienen una mejor evaporación, por lo que su tasa de salinidad es más baja. En las cuencas cerradas la salinidad alcanza los valores más elevados; así, en el mar Muerto el contenido de sales en el agua alcanza un 27,5%.

Véase Arrecifes coralinos; Corteza terrestre; Litosfera; Marea; Oceanografía; Olas; Tectónica; Tierra

Marcapasos

Muchas personas sufren trastornos del corazón a pesar de que poseen un músculo cardíaco en perfecto estado. La anomalía reside en el sistema eléctrico del corazón y consiste en una alteración de las células que generan y transmiten los impulsos que estimulan las pulsaciones cardíacas.

El corazón El corazón, que es esencialmente un músculo «hueco», está dividido en cuatro cavidades: las *aurículas* derecha e izquierda que tienen la función de cámaras receptoras y los *ventrículos* derecho e izquierdo que funcionan como cámaras de impulsión de la sangre. En un corazón normal, el nodo sinusal, como estimulador cardíaco natural, origina una señal eléctrica que se trasmite al resto del músculo y que lo estimula produciendo la contracción. En condiciones normales, las aurículas se contraen con una ligera anticipación con respecto a los ventrículos. La sangre es bombeada desde el lado derecho del corazón (*sangre venosa*) hacia los pulmones, en donde tiene lugar el cambio del CO₂ por el oxígeno inhalado. La sangre vuelve después al lado izquierdo del corazón (*sangre arterial*), para ser impulsada a todo el cuerpo.

Cualquier fenómeno que dé lugar a una interferencia con los impulsos eléctricos normales puede originar irregularidades, tanto latidos excesivamente rápidos como una frecuencia cardíaca demasiado lenta. Estas alteraciones se conocen con el nombre de *arritmias cardíacas*. Por ejemplo, un ataque cardíaco puede lesionar el nodo sinusal, o parte del tejido neuromuscular que transmite los impulsos eléctricos, dando lugar a una arritmia. Los marcapasos

son aparatos que estimulan artificialmente las pulsaciones de un corazón alterado.

La estructura del marcapasos, su colocación y su funcionamiento El marcapasos consiste esencialmente en un generador de impulsos eléctricos alimentado por una batería, un conductor que transmite los impulsos y un electrodo —situado en el extremo del mencionado conductor— que aplica los estímulos eléctricos al músculo cardíaco, produciendo las contracciones del mismo.

Los primeros marcapasos eran relativamente aparatosos en comparación con los actualmente existentes (tenían aproximadamente las dimensiones de un paquete de cigarrillos) y se aplicaban externamente. Sus baterías requerían sustituciones frecuentes, mientras que las actuales duran años (las baterías de la microelectrónica han conseguido disminuir las dimensiones del generador a un tamaño aproximado al de un reloj).

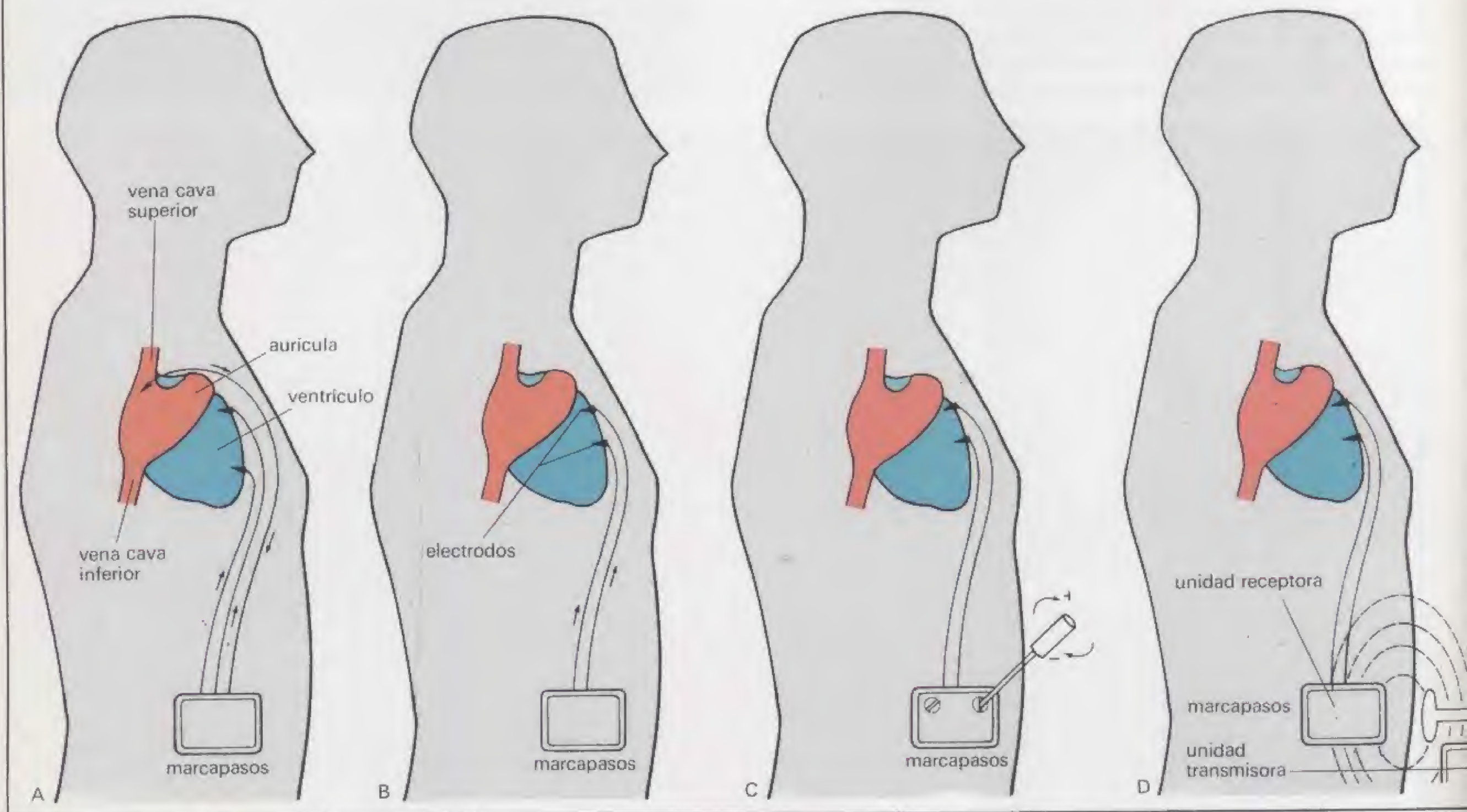
Existen distintas técnicas para la colocación del instrumento. El método denominado *transvenoso* —que requiere solamente una anestesia de tipo local— consiste en la práctica de una pequeña incisión entre la mama del paciente y la clavícula y en la inserción del generador de impulsos entre la piel y el músculo. Con el auxilio de una pantalla radioscópica fluorescente (un tipo de aparato de rayos X capaz de producir una imagen radioscópica "en vivo"), el cirujano guía el conductor eléctrico hasta el corazón, haciéndole recorrer un vaso sanguíneo puesto al descubierto (generalmente una de las venas que se dirigen al brazo, por debajo de la clavícula). El electrodo está provisto de

pequeños diente-cillos en su extremo, que permiten fijarlo fácilmente al corazón. Otra técnica de inserción del marcapasos consiste en unir el electrodo al corazón haciendo pasar el conductor directamente a través del tórax. Se trata de un método más complejo, que requiere una anestesia general y que conlleva mayores riesgos que la técnica transvenosa.

El tipo más difundido de estimulador cardíaco es el que funciona según la demanda ventricular; esto quiere decir que si el instrumento no registra un latido cardíaco natural dentro de un determinado período de tiempo, provoca un impulso eléctrico que llega hasta los ventrículos y da lugar a su contracción. Los más sofisticados marcapasos existentes en la actualidad son capaces de estimular primeramente las aurículas y posteriormente los ventrículos, tras un breve intervalo de tiempo, como tiene lugar en el corazón

Los marcapasos se clasifican en dos grupos: aquellos en los que la estimulación se conduce al corazón por medio de conductores eléctricos conectados a un generador interno, y aquellos en los que la estimulación parte de un generador o de una bobina receptora aplicada directamente en el corazón. Abajo, tipos de marcapasos: A, marcapasos interno, con electrodos de hilo que permiten una estimulación ventricular sincronizada con la actividad auricular; B, marcapasos de

frecuencia fija, totalmente interno; C, marcapasos interno, con frecuencia variable desde el exterior; D, marcapasos, en parte externo, con unidad receptora situada en un bolsillo; E, marcapasos con unidad receptora situada debajo de la piel; F, marcapasos, en parte externo, en el que la unidad transmisora posee una antena; G, marcapasos, en parte externo, en el que el acoplamiento entre la unidad receptora y la transmisora se efectúa a través de ondas de



sano, permitiendo así que la sangre pueda pasar adecuadamente desde las aurículas a los ventrículos. Otros marcapasos pueden incrementar o disminuir la frecuencia de los latidos de un corazón que funcione anormalmente lento o rápido. Existen algunos que incluso son capaces de responder a un eventual aumento de la actividad física y de incrementar la frecuencia de las pulsaciones, produciendo así un mayor flujo sanguíneo. Los médicos pueden modificar el régimen de funcionamiento de los marcapasos programables, haciendo variar la frecuencia de las pulsaciones de los mismos por medio, por ejemplo, de ondas de radio; en otro tiempo, por el contrario, esta modificación suponía retirar el marcapasos instalado y sustituirlo por uno nuevo.

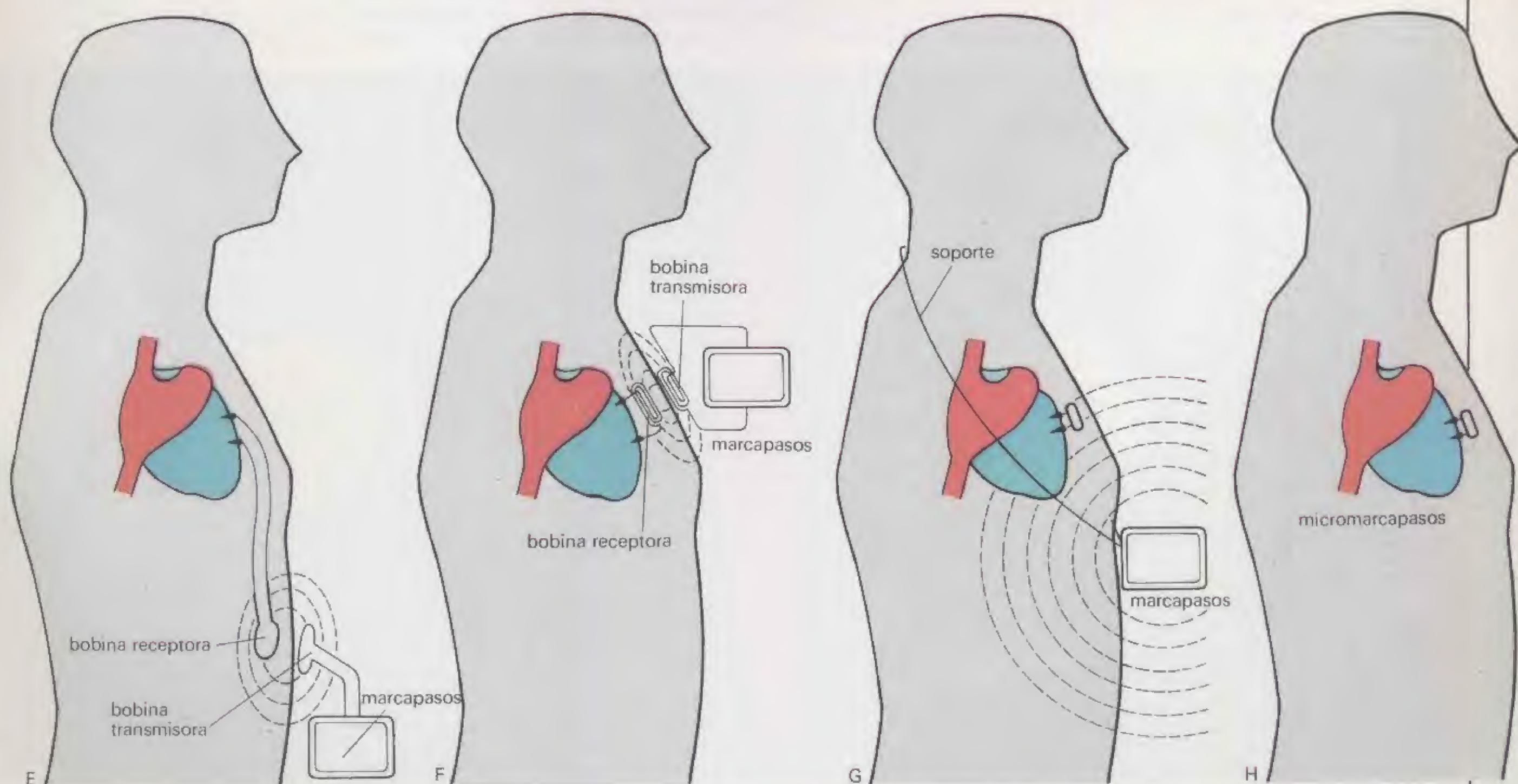
Véase **Circulatorio, sistema; Corazón; Electrocardiografía; Fisiología**

radiofrecuencia; H, marcapasos totalmente interno, constituido por una unidad fija en el miocardio ventricular. Arriba y a la derecha, marcapasos pediátrico de frecuencia fija. Al lado, marcapasos totalmente interno, del tipo Pulsicor, en el que la frecuencia de la estimulación se determina antes de su implantación y permanece fija durante el funcionamiento. Estos son los tipos de marcapasos más difundidos en la práctica clínica, por cuanto que presentan una mayor seguridad

de funcionamiento. Las exiguas dimensiones de estos aparatos se ponen en evidencia al comparar su tamaño con el de una cerilla. Más a la derecha, marcapasos de frecuencia variable para el tratamiento de los bloqueos cardíacos intermitentes. La ventaja de este tipo de marcapasos consiste en la posibilidad de modificar los parámetros de la estimulación, pero presentan la notable desventaja de una posición fija y obligada del aparato exterior.



SORIN, Centro de Investigaciones Nucleares, Saluggia, VC



Mareas

Las mareas, movimientos periódicos de ascenso y descenso del agua del mar, constituyen quizá uno de los fenómenos oceánicos más fáciles de observar. Aunque conocido desde la Antigüedad, el fenómeno de las mareas sólo pudo explicarse a partir de que Isaac Newton formulara su ley de la atracción gravitatoria entre los cuerpos celestes. Según esta ley, la atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa, es decir, la fuerza de atracción es mayor cuanto mayor es la masa y menor la distancia. Por lo tanto, todos los cuerpos celestes afectan a las aguas oceánicas en cierto grado, aunque los efectos más importantes se deben en primer lugar a la Luna, por su proximidad a la Tierra (382.200 km), y al Sol, por su gran masa.

Influencia de la Luna La Tierra y la Luna se atraen mutuamente con fuerza, debido a su proximidad. Esta atracción está equilibrada por la fuerza centrífuga que se produce en ambos al girar sobre un centro común, el centro del sistema Tierra-Luna, situado a unos 4.700 km del centro de la Tierra. Sin embargo, a pesar de que las fuerzas de atracción y centrífuga se equilibran en los centros de la Tierra y la Luna, la fuerza resultante varía en cada punto geográfico a medida que la Luna gira alrededor de la Tierra. Esta responde, a pesar de su rigidez, con una pequeña deformación (mareas terrestres, causadas también por el Sol), pero el efecto principal se produce en los océanos.

Cuando la Luna pasa por un meridiano determinado, la atracción en ese punto es lo suficientemente fuerte como para producir un elevamiento del nivel de las aguas (*marea directa*, pleamar). En la cara



Mont-Saint-Michel, en Francia, es uno de los lugares en los que el fenómeno de la marea, sin ser intenso lejos de la costa, está aumentando por la batimetría del fondo marino próximo a la

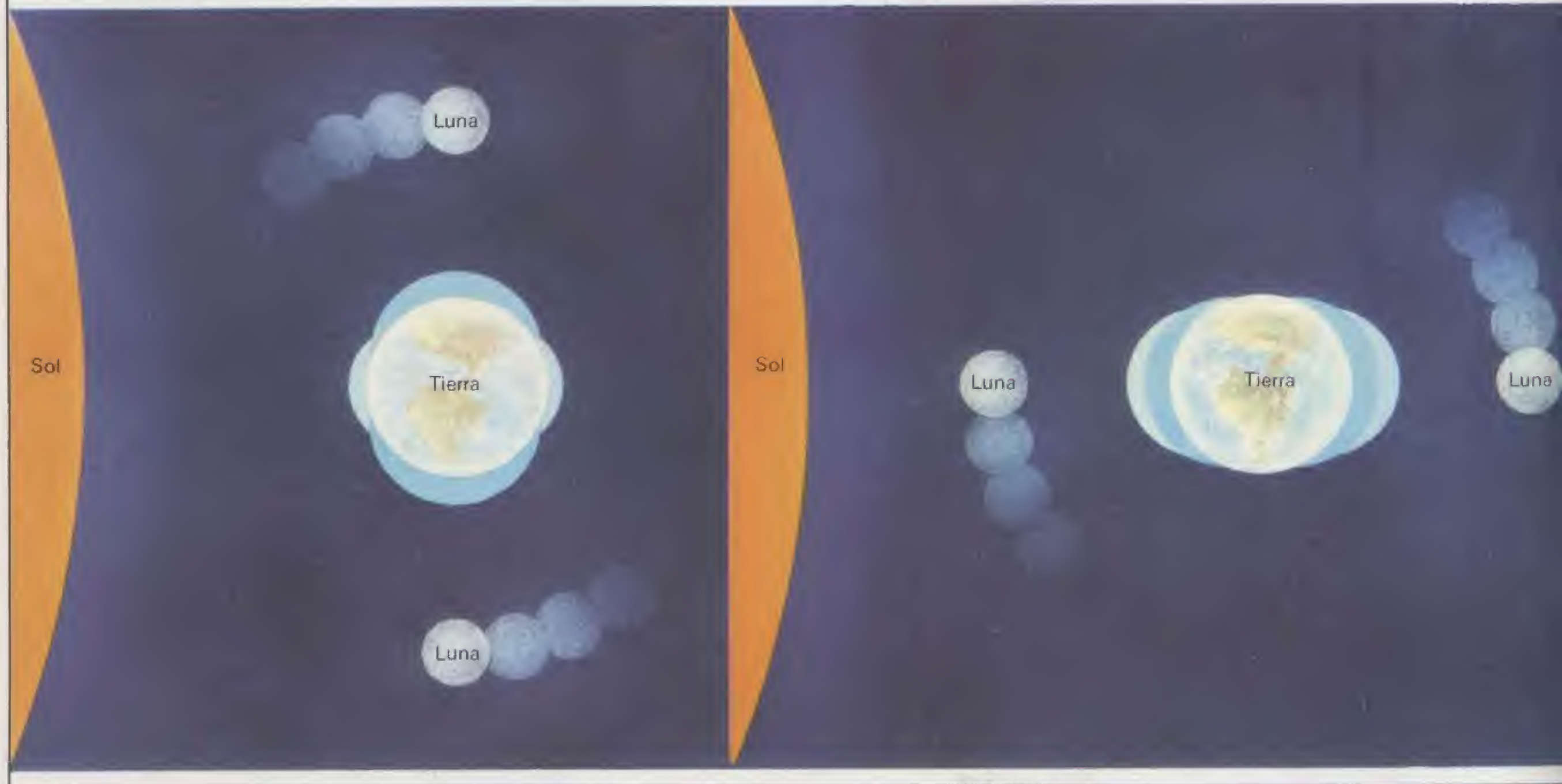
costa. Con la marea alta, el promontorio se convierte en una isla. Abajo: a la izquierda, *mareas de cuadratura*, o muertas, cuando la acción del Sol y de la Luna están en oposición; a la

derecha, *mareas sicigiales*, o vivas, en las cuales la acción de los dos astros se suma y las mareas son más intensas. En el mapa de la página siguiente se ven las áreas en las que la intensidad de

las mareas es mayor. Las mareas de mar abierto son raramente de gran altura; ésta destaca más en los fondos de los estuarios por la acción del viento y de la presión atmosférica.

opuesta, la atracción se ejerce más sobre la corteza terrestre, que desciende, produciéndose también un elevamiento del nivel de las aguas (*marea indirecta*, también

pleamar). Como la Luna tarda 24h 50' en pasar dos veces por un mismo meridiano, el tiempo medio entre una marea directa y una indirecta es de 12h 25'.





Influencia del Sol El Sol ejerce un fuerte efecto de marea sobre la Tierra; la marea solar media viene a tener la mitad de altura que la marea lunar media.

Cuando el Sol, la Luna y la Tierra están alineados, los efectos de los dos primeros se suman, produciéndose las mareas de máxima intensidad, tanto las pleamares como las bajamares: son las *mareas sicigiales*, o *vivas*, que aparecen aproximadamente cada dos semanas, coincidiendo

con la luna llena o la luna nueva. Si, por el contrario, el Sol y la Luna forman ángulo recto con la Tierra, las mareas solar y lunar no coinciden y la amplitud de las mismas es menor, llamándose *mareas de cuadratura*, o *mareas muertas*.

Tipos de mareas El tipo más sencillo es la *marea diurna*, que comprende una pleamar y una bajamar cada día de marea; este tipo es muy común en el Golfo

de México y en Asia sudoriental. En Europa y en las costas atlánticas de Estados Unidos son corrientes las *mareas semi-diurnas*, con dos pleamares y dos bajamares cada día de marea. El tercer tipo es la *marea mixta*, en el que se dan dos pleamares de distinta altura y dos bajamares también diferentes; es frecuente en la costa pacífica de Estados Unidos.

La altura de la marea en una localidad determinada depende de la profundidad, de la topografía del fondo del océano, de la forma de la costa y de la conexión de la masa local de agua con el océano mundial. Todo esto hace que la predicción exacta de los períodos de marea (tiempo que transcurre entre dos mareas sucesivas) sea prácticamente imposible. Pero como estas variaciones de nivel son muy importantes para los navegantes; basándose en observaciones anteriores sobre estos fenómenos se han confeccionado tablas referentes a cada puerto. Considerando además las distintas posiciones de los cuerpos celestes, dichas tablas pueden proporcionar los horarios y las variaciones de nivel de las mareas altas y bajas, así como las corrientes de marea que tienen que ver con la navegación en aguas marinas y de bahía.

La energía (de marea) almacenada en cada ciclo de marea oceánica es de unos 10^{18} julios, es decir, sólo cuatro órdenes inferior a la energía solar que alcanza la Tierra en el mismo período. Se han hecho bastantes proyectos para utilizar esta considerable fuente de energía, aprovechando el flujo y reflujo marino en las regiones costeras; pero el único de una cierta importancia es el que se ha materializado en la central eléctrica maremotriz de La Rance, en Francia.

Véase **Energía maremotriz; Luna; Mar**



Margarina

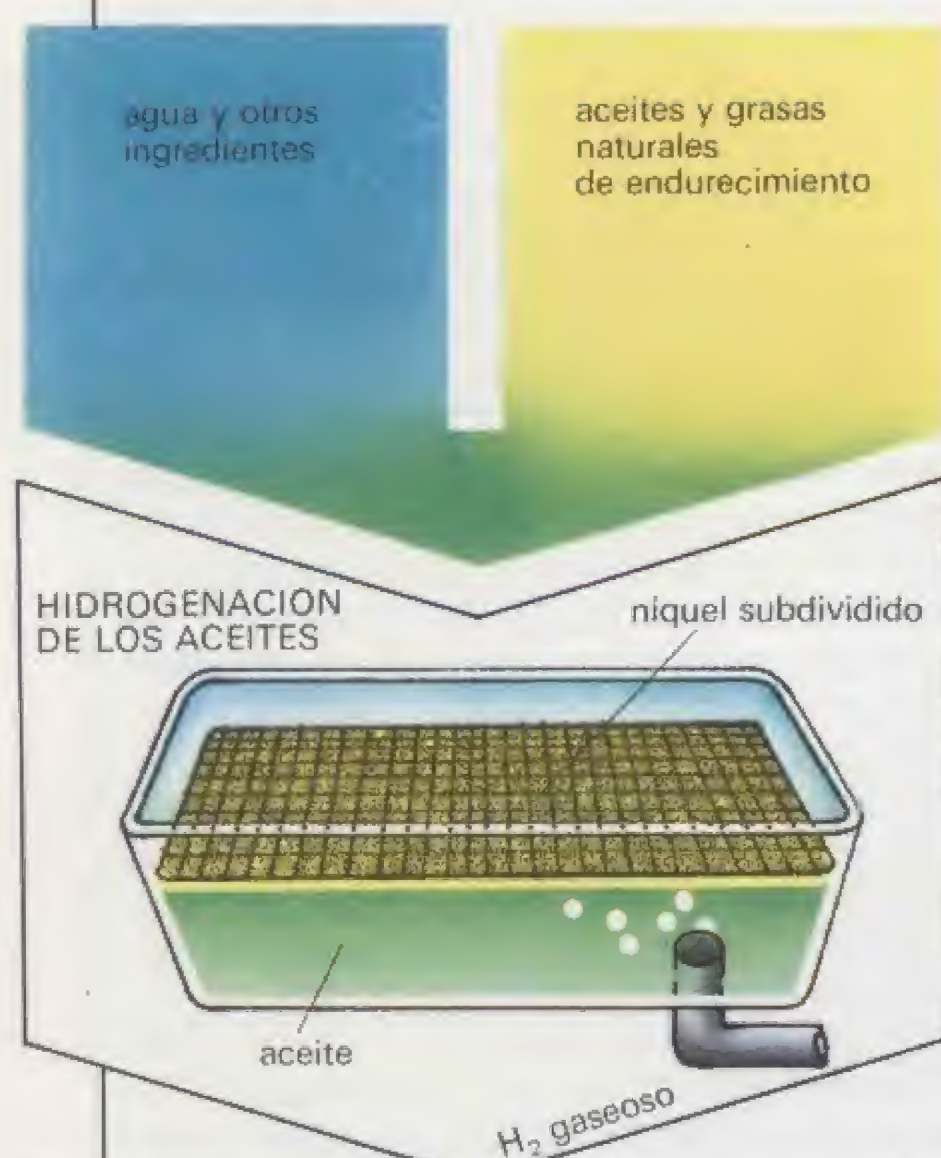
Podría creerse que la margarina es un sustituto de la mantequilla de reciente invención, pero realmente fue inventada en 1869 por el químico francés Mège-Mouriés a raíz de un concurso convocado por Luis Napoleón para promover la invención de un sustitutivo económico de la mantequilla.

Ingredientes La margarina está formada por grasas y aceites vegetales o animales dispersos en una solución acuosa, sal, productos lácteos sólidos y aromatizantes. En un principio, la margarina generalmente se fabricaba con grasas animales —el preparado de Mège-Mouriés contenía sebo bovino— pero el aumento del

interés por las grasas y aceites poliinsaturados, menos dañinos para la salud, llevó al empleo de los aceites vegetales, como el aceite de maíz, de girasol, de soja, de semillas de algodón y de cacahuete. En Europa todavía se hace uso de grasas animales (sobre todo grasas de cetáceos y otras especies marinas).

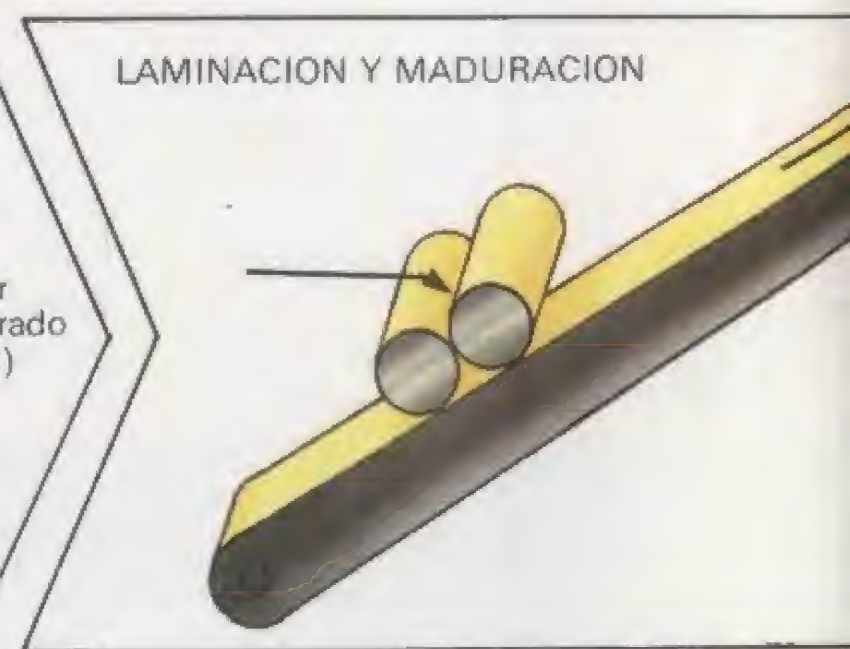
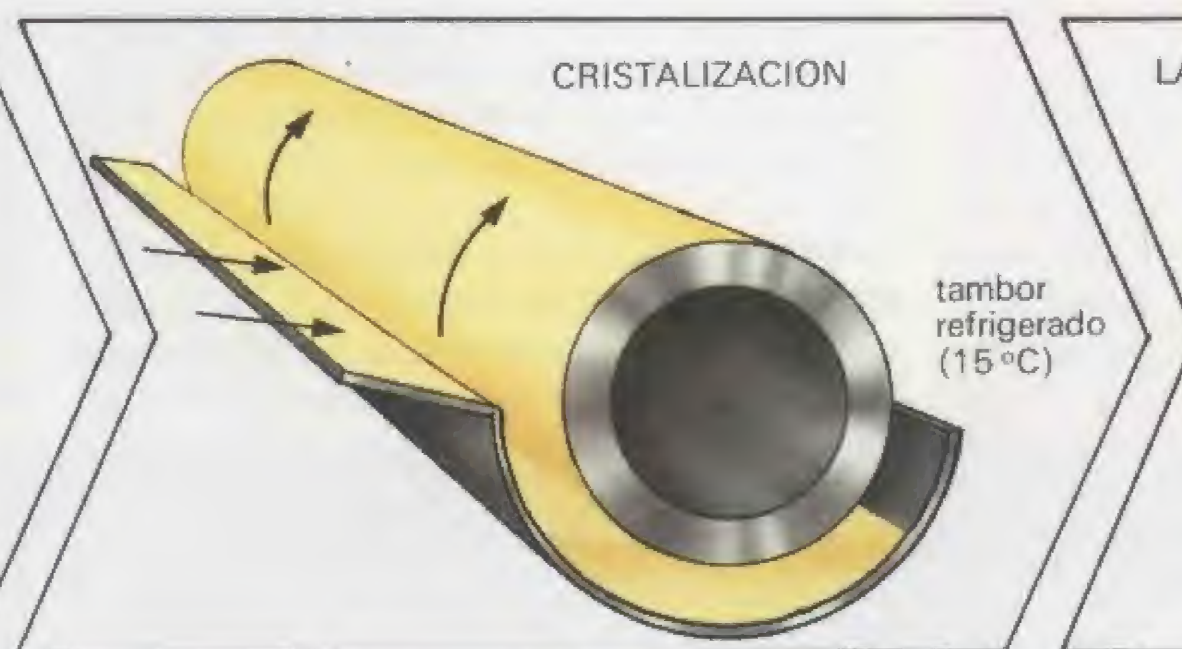
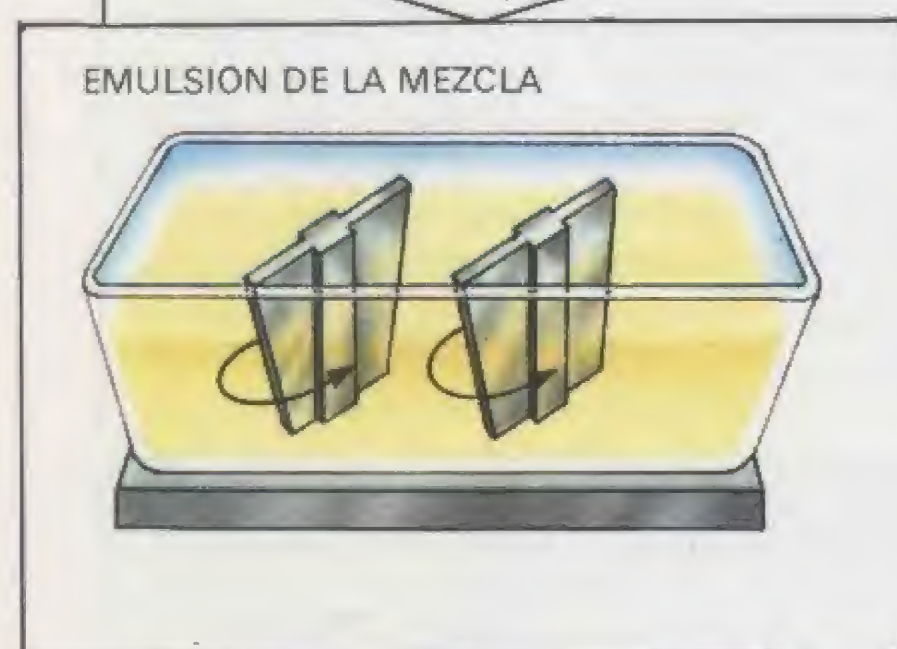
Según las legislaciones de los distintos países, la margarina debe contener de un 80% a un 84% de sustancias grasas, mientras que el agua debe alcanzar un porcentaje máximo del 15%. La solución acuosa está generalmente compuesta por agua o leche desgrasada pasteurizada. Se añade también sal (o —para aquellos que siguen una dieta de bajo contenido de sodio— cloruro de potasio), edulcorantes alimenticios, emulsionantes para una adecuada mezcla de los ingredientes, conservantes, colorantes y aromatizantes que son mezclados en la solución acuosa.

Los aceites vegetales poliinsaturados contenidos en la margarina son hidrogenados (el hidrógeno se hace gorgotear en ella), saturando así con átomos de hidrógeno la doble conexión de la cadena de átomos de carbono y protegiendo la grasa de las alteraciones. Gracias a la hidrogenación, en la molécula del aceite quedan menos puntos a los que pueden unirse los átomos de oxígeno del aire, lo que provocaría la oxidación, responsable de que la margarina se enrancie.



En el esquema se ilustra el proceso de fabricación de la margarina. La fase más importante es la hidrogenación, que se realiza en recipientes cerrados de material adecuado (generalmente níquel), inerte al aceite; a la mezcla se adiciona hidrógeno gaseoso hasta alcanzar el grado de consistencia deseado. La operación permite reducir la tendencia a la oxidación de la fracción lipídica. En esta fase, sin embargo,

se producen también modificaciones en la estructura de los ácidos grasos insaturados, que de la forma *cis*, presente de forma natural, se transforman en isómeros *trans*, cuyos efectos sobre el organismo son desconocidos. La parte lipídica se prepara mezclando en dosis adecuadas las materias primas naturales o endurecidas en función de la consistencia y del valor nutritivo deseado.



COMPOSICION MEDIA DE ACIDOS GRASOS EN DIVERSOS TIPOS DE MARGARINA

		ACIDOS GRASOS INSATURADOS (%)			ACIDOS GRASOS SATURADOS (%)
		Monoinsaturados	Dos conexiones dobles	Poliinsaturados	
TIPOS DE MARGARINA SOLIDA	totalmente vegetal	35 - 66	12 - 48	0,5 - 4	17 - 25
	mixta; vegetal y animal	52 - 57	2 - 11	0 - 0,5	36 - 41
	semisólida	22 - 48	25 - 65	0,5 - 3	15 - 23
	untable	14 - 36	42 - 75	0,5 - 5	10 - 17

ALGUNOS EJEMPLOS DE FORMULAS PARA LA FABRICACION DE MARGARINA

Margarina totalmente vegetal

aceite de coco 50-60 %	grasas hidrogenadas vegetales 20-25 %	grasas vegetales 20-25 %
---------------------------	--	--------------------------------

Margarina mixta

aceite de coco 50 %	aceite de ballena 25 %	aceites vegetales 25 %
------------------------	------------------------------	------------------------------

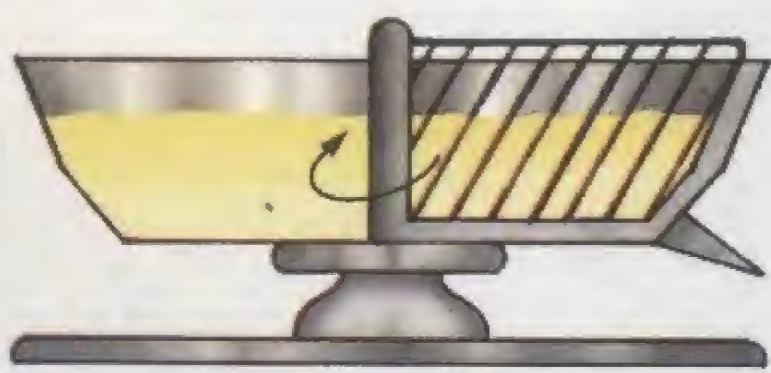
Margarina rica en ácidos grasos poliinsaturados

aceite de girasol liquido 88 %	aceite de palmito hidrogenado 6 %	aceite de palma hidrogenado 6 %
-----------------------------------	--	--

Margarina mixta para pastelería

aceite liquido vegetal o animal 4 %	grasa bovina (sebo) 25 %	aceite de palma hidrogenado 25 %
		aceite de cacahuete hidrogenado 10 %

MOLDEADO Y EMPAQUETADO



La preparación de la parte acuosa es más simple: se trata de disolver en agua colorantes, conservantes y sustancias aromatizantes. Ambas partes se mezclan enérgicamente y se añade el emulsionante. Se pasa después a la cristalización en tambores refrigerados rotantes. La emulsión se solidifica sobre las paredes, de donde se

retira, obteniéndose una masa que se deja madurar hasta alcanzar la homogeneidad. La última fase es la del moldeado y empaquetado. El proceso descrito se realiza en instalaciones de funcionamiento continuo. Existen distintos tipos de margarina, que presentan notables diferencias entre sí, tanto por las materias

primas utilizadas como por los parámetros de hidrogenación. Además de las margarinas tradicionales, preparadas con grasas hidrogenadas y aceites vegetales, como el aceite de coco o de palmera, existen en el mercado margarinas muy insaturadas de tipo untable y de una sola clase de semilla que contienen más del 80% de ácidos grasos insaturados.

Existe, sin embargo, otro problema en relación con las variaciones que se producen cuando los ácidos poliinsaturados son hidrogenados; tal fenómeno es la formación de los estereoisómeros de las moléculas, es decir, de sus imágenes especulares en el espacio. Los ácidos grasos poliinsaturados son una larga cadena y tienen una forma compleja. Para cumplir sus funciones fisiológicas deben tener una configuración específica. Un ejemplo puede aclararlo: así como los dos guantes de un mismo par tienen algunas características en común pero no pueden ser cambiados entre sí, la forma *cis* de una grasa que es beneficiosa puede ser transformada en la forma *trans* que es similar pero que no se incorpora de modo apropiado en los procesos bioquímicos del cuerpo y por tanto puede entorpecer los trabajos, resultando de escasa eficacia, incluso dañina (las investigaciones científicas no han

expresado todavía un parecer unívoco sobre el particular). En la solución grasa se mezclan los ingredientes solubles en las grasas, como las vitaminas liposolubles (vitamina A, por ejemplo).

Fabricación La margarina de Mège-Mouriés fue producida con un equipo para la fabricación de mantequilla utilizado en aquel tiempo. El proceso moderno de fabricación consta de varias fases: preparación de la mezcla, tratamiento de las materias primas, preparación de la emulsión, laminado y amasado, y moldeado y empaquetado.

En un recipiente se tienen los componentes oleosos —el aceite y los ingredientes solubles en él, como las vitaminas—, mientras que otro recipiente contiene la solución acuosa (el agua o la leche, la sal, los aromatizantes y el agente emulsionante). Cada una de las dos partes es mezcla-

da previamente en las proporciones justas. A continuación, las grasas y las sustancias no grasas se baten fuertemente dentro del agua o de la leche hasta que se logra una perfecta emulsión. Esta operación se realiza en un aparato denominado *kirn*. En la fase de laminado se eliminan por presión el agua y las sustancias que arrastra consigo, y durante el amasado se cohesionan y se homogeneizan los grumos de grasa. Las operaciones de moldeado y empaquetado de la margarina son similares a las empleadas en la mayoría de las industrias, y consisten en la confección de pastillas de margarina y su posterior envasado.

Véase **Alimentación y nutrición; Alimentos, aditivos y conservantes; Lípidos; Mantequilla**

Marsupiales

En diversas regiones del mundo, pero sobre todo en Australia, Tasmania y Nueva Guinea, existen unos animales pertenecientes a un orden primitivo de mamíferos, conocido con el nombre de *Marsupiales*. Al igual que el resto de los mamíferos, se trata de animales vertebrados de sangre caliente, dotados de pelos en la superficie del cuerpo y de glándulas mamarias. Se diferencian del resto de los mamíferos, sobre todo, por la forma en que se desarrolla el feto en el interior del útero. Los mamíferos placentarios, que son los más prolíficos, retienen el feto en el interior del útero materno. El feto mantiene una conexión con el útero, y es alimentado mediante un órgano llamado *placenta*. Los marsupiales no tienen una placenta completamente funcional, y la conexión entre los tejidos de la madre y los del feto en vías de crecimiento es limitada. Los embriones de los marsupiales se alimentan del saco vitelino que les rodea, pero se trata de un órgano pequeño que no puede suministrar material nutritivo durante mucho tiempo. Por ello, los marsupiales tienen un período de gestación muy breve, que varía entre 8 y 40 días según las especies. Por lo tanto, cuando todas las reservas de alimento han sido agotadas, el pequeño marsupial nace en una fase de desarrollo que equivale a la del feto maduro de los placentarios. Los marsupiales recién nacidos están completamente desprovistos de defensas, y sus dimensiones, debido al corto período de gestación, son muy reducidas. Es obvio que la tasa de mortalidad después del nacimiento es mucho más alta que en otras especies animales. El canguro rojo, que en estado adulto mide un metro de altura aproximadamente, sólo mide 2,54 cm en el momen-

MARSUPIALES
mamíferos vivíparos con mamas externas contenidas en un marsupio o bolsa abdominal



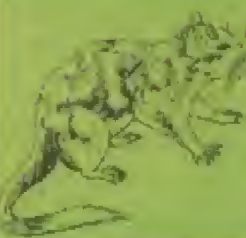
NOTORICTIDOS
aspecto talpoide, ojos atrofiados, ausencia de pabellón auditivo

FASCOLOMIDOS
incisivos superiores; molares con raíces abiertas, de crecimiento continuo



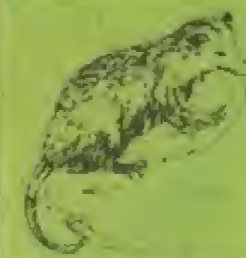
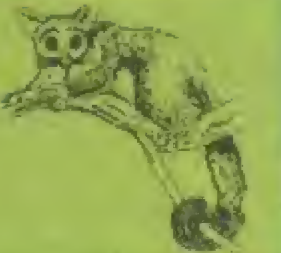
PARAMELIDOS
segundo y tercer dedos posteriores unidos; ojos y pabellones auriculares bien desarrollados

MACROPODIDOS
pies posteriores ensanchados, en los que generalmente falta el primer dedo, que, cuando está presente, es pequeño y semioponible



DASIURIDOS
primer dedo posterior no oponible, a veces ausente; cola no prensil, más o menos peluda

FALANGERIDOS
pies posteriores generalmente cortos; siempre con el primer dedo oponible



DIDELFIDOS
primer dedo posterior oponible, a veces ausente; cola prensil, total o parcialmente desnuda

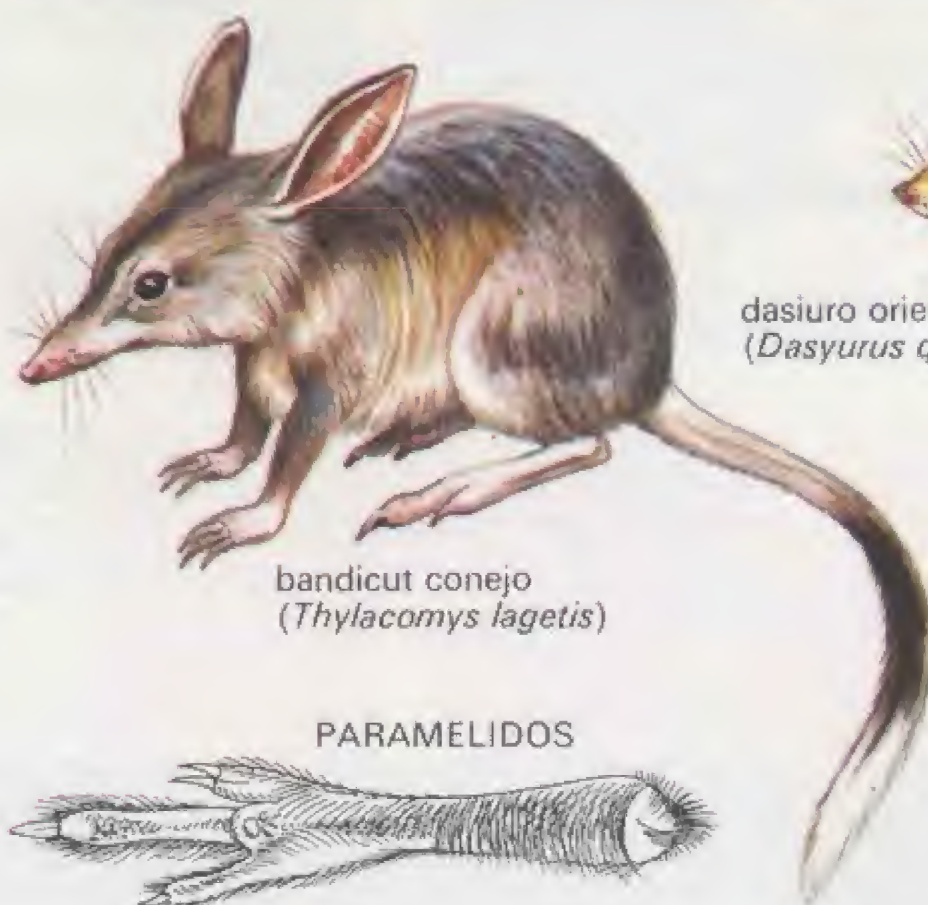
Los marsupiales comprenden unas 250 especies vivientes, subdivididas en siete familias importantes (esquema superior), además de la de los Cenoléstidos, de escasa entidad y que



topo marsupial
(*Notoryctes typhlops*)



NOTORICTIDOS



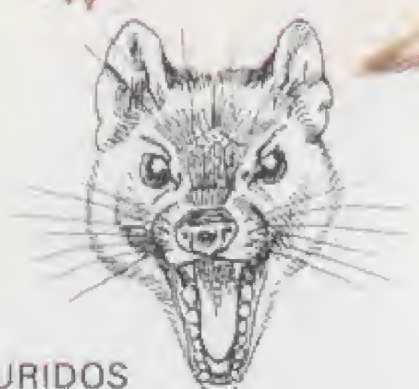
bandicut conejo
(*Thylacomys lagotis*)

PARAMELIDOS

dasiuro oriental
(*Dasyurus quoll*)



DASIURIDOS



to del nacimiento. Cuando este se produce, la madre humedece con saliva una franja que va desde la vagina al borde del marsupio, bolsa que recubre los pezones (desembocaduras de las glándulas mamarias). Si el pequeño canguro es lo bastante hábil, podrá arrastrarse en el momento del nacimiento hasta la bolsa marsupial, penetrando en su interior y fijándose sólidamente con la boca al pezón, sin aban-

donarlo durante unos seis meses. Cuando el pequeño es capaz de asomar la cabeza fuera de la bolsa, está ya en condiciones de valerse por sí mismo.

Las características de los marsupiales Los marsupiales tienen esencialmente la misma organización corporal que los mamíferos placentarios. Sin embargo, su cerebro está menos desarrolla-

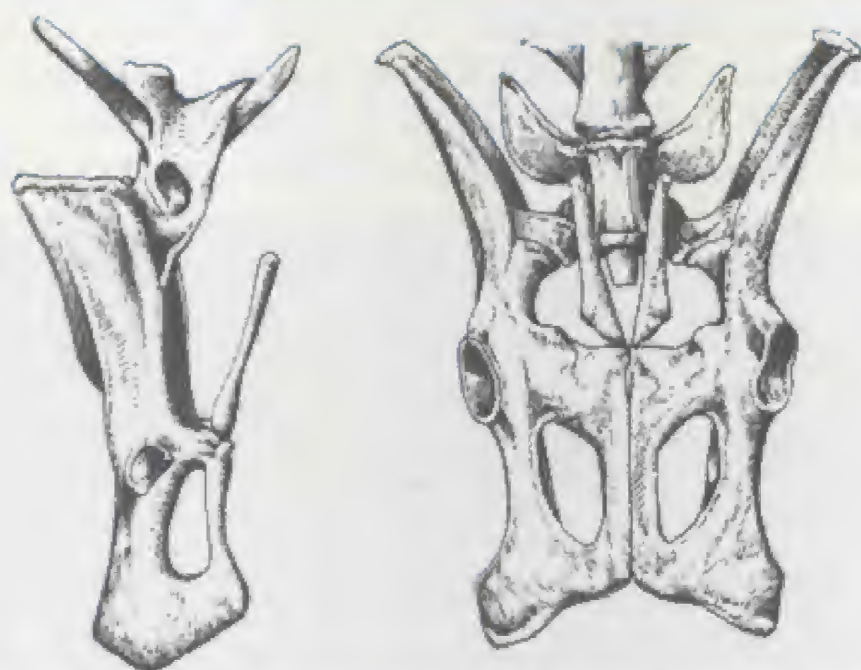
viven en América del Sur. En los dibujos sobre estas líneas vemos, de izquierda a derecha, un topo marsupial, un bandicut conejo y un dasiuro oriental. El primero de ellos, propio de Australia suroccidental, tiene el hocico protegido por un escudo córneo;

el segundo, que se encuentra en la misma zona, tiene largas orejas y patas anteriores aptas para la excavación; el tercero, del sureste de Australia y Tasmania, recuerda a una jineta, pero sus dimensiones son muy similares a las de un gato pequeño.



DIDELFIDOS

Arriba vemos dibujados una zari güeya, un uombat y un kanguro gigante rojo. La primera, propia de América Central y sur de Estados Unidos, tiene costumbres nocturnas y arborícolas, con una dieta principalmente carnívora. El segundo, tosco y macizo, tiene la cabeza grande, con el hocico aplastado y carente de pelos en su extremo; vive en Tasmania. El tercero, junto con otras dos especies parecidas, es el más conocido de los marsupiales, y está difundido por toda Australia. En la foto bajo estas líneas, un koala con su cría a la espalda.



La cintura pélvica de los marsupiales, conformada como la de la mayor parte de los mamíferos, tiene dos huesos suplementarios de tipo cartilaginoso, denominados *huesos marsupiales* o *epipúbicos*, que se separan de los huesos púbicos dirigiéndose hacia la parte anterior del abdomen. Se consideran una reminiscencia de los de los monotremas y soportan las tensiones de los músculos abdominales y del marsupio.

do, por lo que los marsupiales son mamíferos relativamente poco inteligentes. Otra característica notable de los marsupiales es la presencia de garras muy desarrolladas y afiladas, adecuadas para excavar y trepar. También es muy importante la cola. Los de gran talla, como los kanguros y los wallabys, tienen una cola muy larga y fuerte, que hace de contrapeso a sus pesados cuerpos durante el salto. Los marsupiales arborícolas, más pequeños, suelen tener una fuerte cola prensil para sujetarse a las ramas. La mayor parte de los marsupiales es herbívora, pero hay otros adaptados a una dieta omnívora, alimentándose de vegetales, pequeñas aves, ratas, insectos, etc. Si bien en la actualidad los marsupiales representan menos del 5% del conjunto de los mamíferos, los zoólogos opinan que en otra época tuvieron una difusión semejante a la de los actuales placentarios. Probablemente han ido desapareciendo allí donde han tenido que competir con los mamíferos placentarios, debido a la alta tasa de mortalidad derivada de su tipo de desarrollo. En el Eoceno, hace unos 40-50 millones de años, estaban presentes en Europa y Norteamérica, donde en la actualidad están virtualmente extinguidos (con la única excepción de la zari güeya, que se encuentra en América). Los zoólogos suponen que en Australia los marsupiales han experimentado una irradiación adaptativa gracias a la inexistencia de mamíferos placentarios competidores, diversificándose en numerosas especies presentes en los hábitats más dispares. En Australia, por ejemplo, casi todos los placentarios que convivían con los marsupiales, hasta la introducción de nuevos placentarios por el hombre, eran murciélagos y roedores. Existen cerca de 250 especies de marsupiales de muy diversos tipos, si se tiene en cuenta su limitada distribución geográfica. Pueden ser de pequeñas dimensiones, como el ratón marsupial, o de gran tamaño (90 kg), como el kanguro rojo. Uno de los marsupiales más populares, el koala, es un mamífero de gustos muy refinados: se alimenta únicamente de las hojas de una determinada especie de eucalipto, y prefiere morir de hambre a comer cualquier otra cosa.

G. Mazza

Véase **Mamíferos**

Marte

Para las civilizaciones antiguas, era el sanguinario dios de la guerra. Para el escritor H. G. Wells, era la patria de macabras criaturas que intentaban conquistar la Tierra. Para los científicos modernos, es un lugar de tormentas de polvo que arrasan el planeta, de volcanes gigantescos y de desfiladeros de miles de kilómetros... Estamos hablando, naturalmente, del planeta Marte, el "vecino" de la Tierra en el espacio.

Características del planeta Marte, el cuarto planeta en orden a su distancia al Sol, describe una órbita muy excéntrica alrededor de éste, que lo sitúa a 206,7 millones de kilómetros del Sol en el punto más cercano y a 249,1 millones de kilómetros en el más alejado.

El año marciano dura aproximadamente 687 días terrestres, mientras que el día marciano es un poco más largo que el nuestro: 24 horas y 37 minutos.

Marte es más pequeño que la Tierra, tiene un diámetro de 6.787 km, de tal forma que sólo Mercurio y Plutón le preceden en tamaño. En consecuencia, la gravedad en Marte es exactamente 0,37 veces el valor de la gravedad terrestre. Esto implica una atmósfera muy ligera, siendo la presión atmosférica en la superficie de Marte equivalente a la que tenemos en la Tierra a una altura de 24 kilómetros.

La atmósfera poco densa de Marte y su elevada distancia del Sol bastan para explicar que sea un planeta extremadamente seco y frío.

Aunque las temperaturas en el ecuador marciano pueden alcanzar los 21 °C durante el verano, la temperatura media de la superficie es de -23 °C y la menor temperatura registrada hasta el momento ha sido -175 grados centígrados.

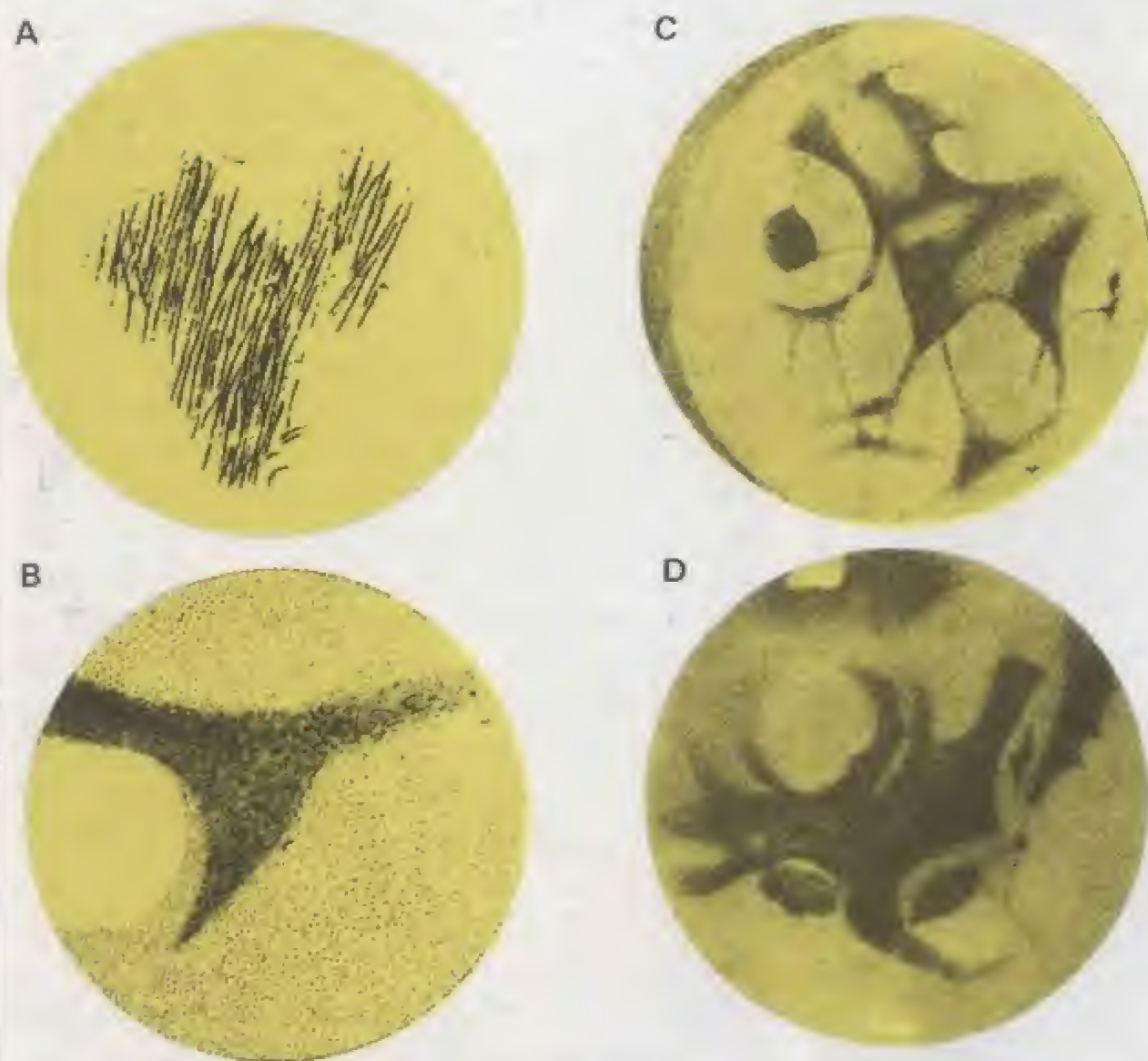
Marte tiene dos lunas, aunque se trata de satélites muy pequeños. Phobos tiene un diámetro de aproximadamente 22 km

y el diámetro de Deimos no sobrepasa los 13 kilómetros.

Phobos cubre una órbita completa alrededor de Marte en menos de un tercio del día marciano, originando un fenómeno único en todo el Sistema Solar: desde la superficie de Marte un observador vería que Phobos sale por el Oeste y se pone por el Este, volviendo a salir nuevamente al cabo de once horas y cruzando el cielo dos veces en cada noche marciana, con un movimiento relativo de sentido opuesto al de Deimos.

El planeta Marte en la historia de la Humanidad Marte, uno de los cinco planetas visibles a simple vista, es conocido desde la Antigüedad, cuando su color rojizo le llevó a ser bautizado por los antiguos romanos como "dios de la guerra".

Durante muchos siglos se creyó que Marte —junto con los demás planetas, así como el Sol— giraba alrededor de la Tie-



A la izquierda, cuatro dibujos de Marte realizados basándose en observaciones efectuadas con telescopios en siglos pasados. En A, dibujo de Huygens (1659), quien con telescopios dotados de objetivo no acromático consiguió observar la altiplanicie de la Gran Sirte, también visible en el dibujo inferior, B, realizado por Schroeter en 1800. En C, detalles más precisos y los famosos "canales", como aparecen en el dibujo de Schiaparelli, que data del 1877. En 1905 —dibujo D— los canales ya han desaparecido de los dibujos de aquellos que no creían en su existencia y que podían utilizar telescopios mucho más potentes que el de Schiaparelli: este dibujo es del famoso astrónomo francés Antoniadi. Pero (abajo), en los mismos años, había en América —junto a quienes no creían en los canales (entre los que estaban casi todos los astrónomos con acceso a grandes telescopios)— quienes sostenían la opinión de Schiaparelli; entre ellos estaba Lowell, autor de ese dibujo de Marte lleno de canales. A la derecha, dibujo de un hipotético paisaje marciano con las tres sondas protagonistas, en tiempos sucesivos, de la exploración del planeta: la *Mars 3* soviética, y las *Viking* y *Mariner 4* americanas. Más allá del desolado horizonte marciano, Deimos y Phobos, las dos pequeñas lunas del planeta rojo.



rra. Sin embargo, se planteaba un problema: de vez en cuando, Marte parecía invertir su recorrido al desplazarse sobre el inmutable fondo de la bóveda estelar.

Hubo que esperar hasta el siglo XVI para que el astrónomo polaco Nicolás Copérnico plantease la hipótesis de que los planetas, incluidos la Tierra y Marte, giraban alrededor del Sol. La Tierra, al moverse a mayor velocidad y a lo largo de una órbita más pequeña, pasaba cerca de Marte periódicamente, lo que daba la impresión de que Marte invertía su camino.

Esta polémica teoría fue posteriormente avalada y profundizada por Kepler, que aprovechó las observaciones realizadas sobre Marte por el danés Tycho Brahe para llegar a la conclusión de que las órbitas descritas por los planetas debían de ser elípticas en lugar de circulares. De esta manera, el estudio de Marte ocupó un lugar relevante en el desarrollo de nuestro conocimiento del Sistema Solar.

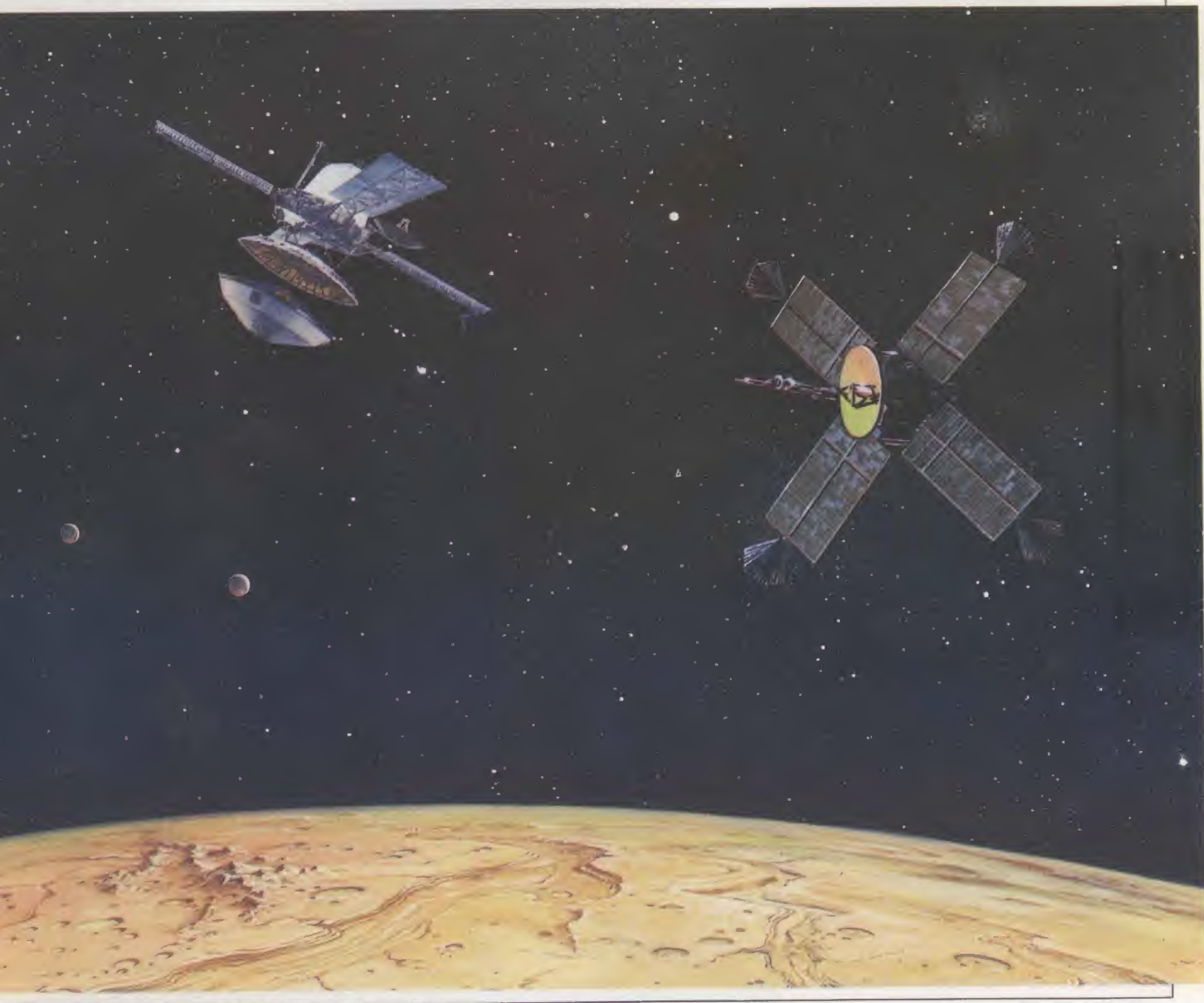
El perfeccionamiento del telescopio en el siglo XVII permitió que Marte dejase de ser para los hombres una pequeña mancha de luz rojiza y se convirtiese en un mundo observable, aunque lleno de misterios. En 1659 el científico y fabricante de lentes holandés Christian Huygens describió algunas características notorias, y aún hoy reconocidas, del aspecto de la superficie marciana: como lo que ocurre con Syrtis Major, una oscura región de forma triangular situada en el ecuador de Marte, que ahora sabemos que se trata de una gigantesca altiplanicie.

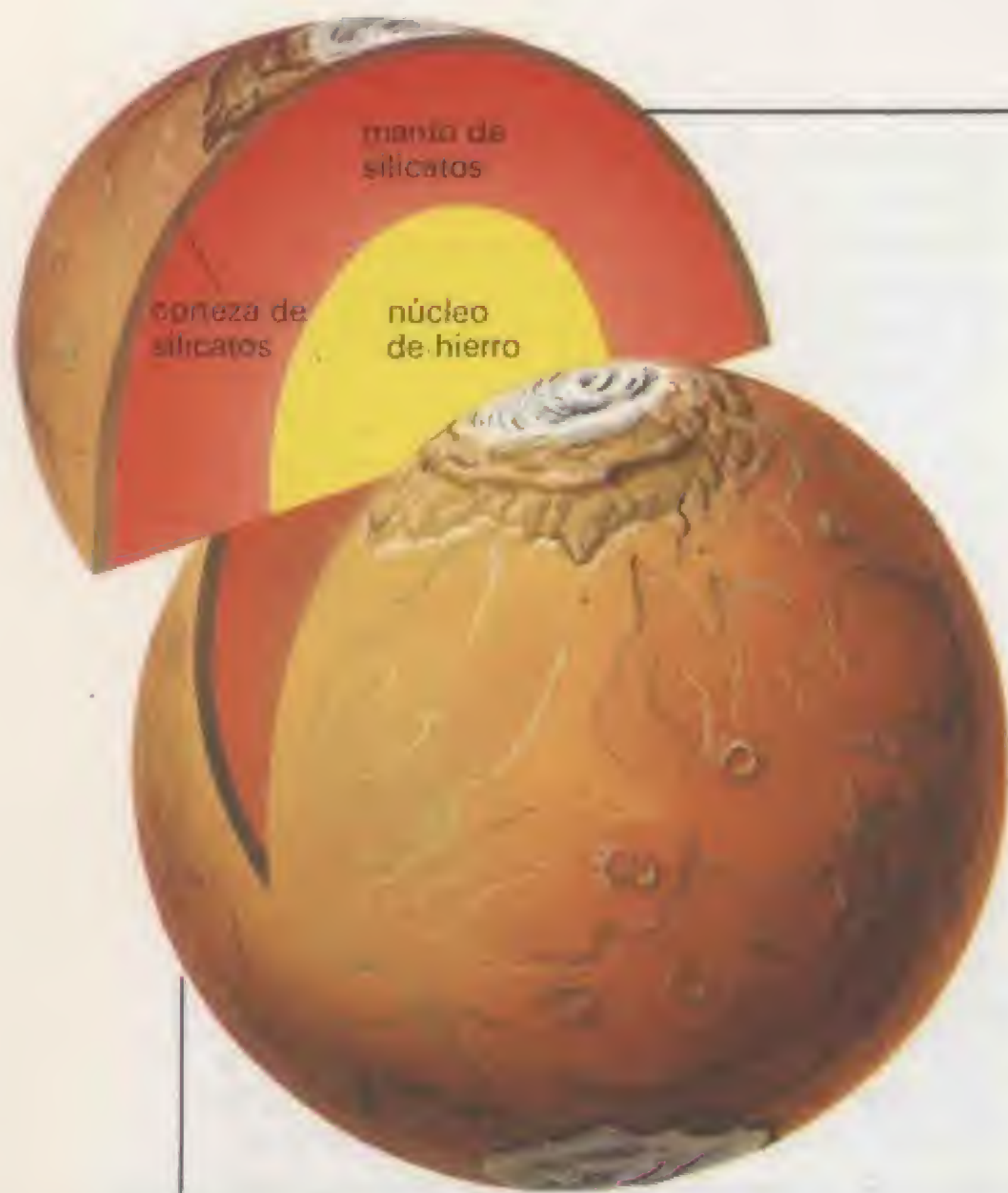
Utilizando Syrtis Major como punto de referencia, Huygens pudo determinar la duración del día marciano. Fue también el primero en observar la existencia de grandes zonas blancas en las cercanías de los polos marcianos. En 1784, el astrónomo William Herschel sugirió la posibilidad de que dichas zonas fuesen casquetes polares recubiertos de hielo. Observó también

que dichos casquetes cambiaban de extensión a lo largo del año, demostrando así la sucesión de las estaciones en Marte, y constató que parecía haber nubes sobre el planeta, lo cual indicaba la existencia de atmósfera.

En 1877, la Tierra y Marte se encontraban en su "conjunción" bienal, momento en el que sus órbitas sitúan a los planetas justamente el uno frente al otro en el espacio, posición ideal para las observaciones. Entonces, el astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli afirmó haber visto una red de finas líneas que se entrecruzaban sobre la superficie del planeta. Las llamó *canales* —palabra que fue traducida por los astrónomos de lengua inglesa como *canals*—, dando inicio así a una polémica que se prolongaría durante decenas de años.

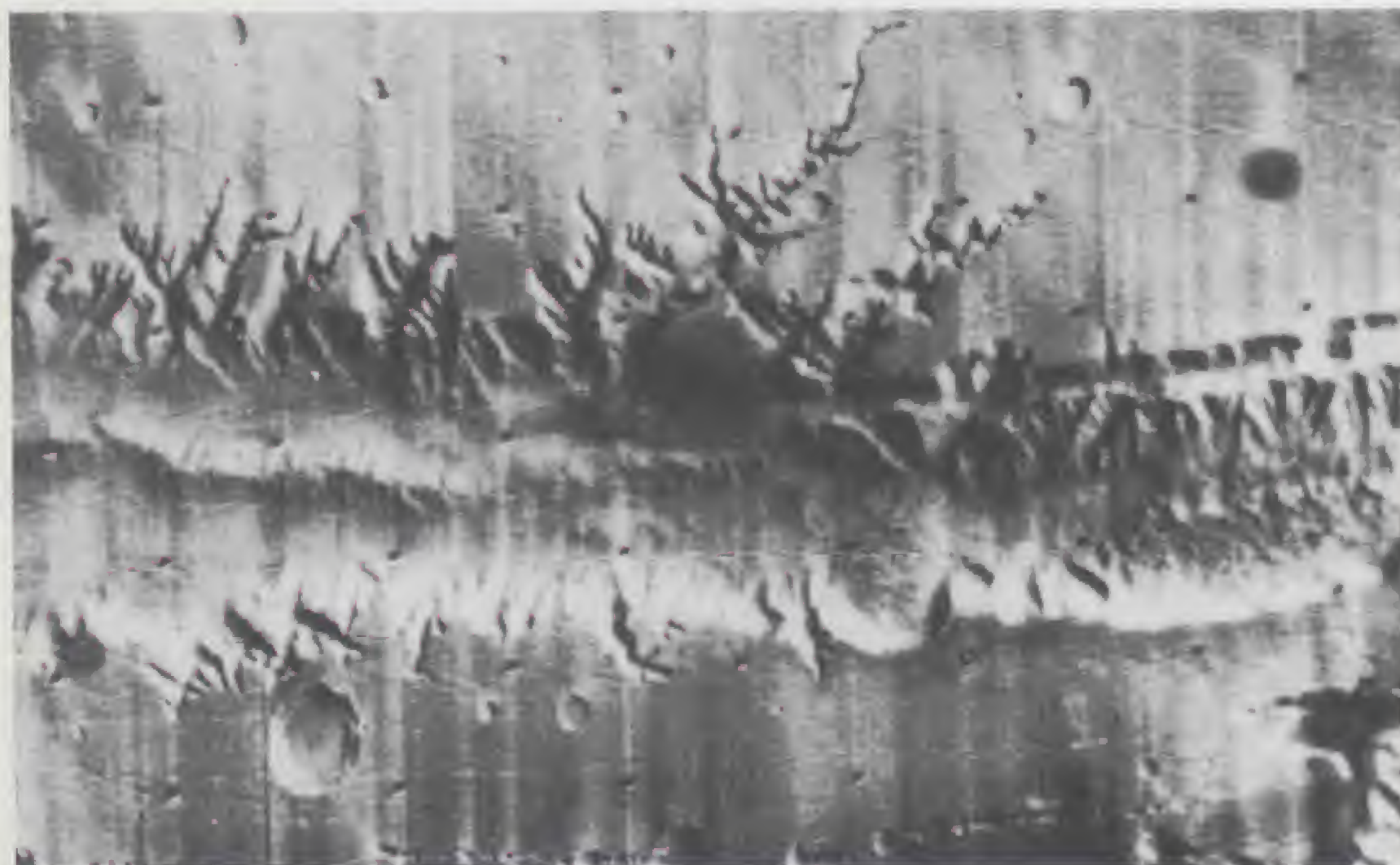
En una serie de publicaciones, el americano Percival Lowell popularizó la idea de que dichos canales podrían haber sido





A la izquierda se muestra un hipotético corte seccional del planeta Marte, indicativo de su estructura interna. La corteza parece no tener una subdivisión en placas continentales como las de la Tierra y esto explicaría la débil actividad sísmica del planeta. Abajo, el gran desfiladero que se extiende casi paralelamente al ecuador de Marte, y que recuerda, con el tipo de corte de los valles laterales, a la erosión producida por cursos de agua ahora completamente secos. A la derecha, la enorme masa del Monte Olimpo, un volcán gigantesco cuya base tiene una anchura de

aproximadamente 900 kilómetros y cuya altura alcanza los 25 kilómetros. Su cima está señalada por una enorme caldera con un diámetro de unos sesenta kilómetros. Se piensa que la actividad volcánica no ha cesado totalmente, aunque no existe ninguna otra señal en el resto del planeta. En la página siguiente, abajo, el paisaje marciano visto por la cámara de televisión de la sonda *Viking*, que aterrizó sobre la superficie del planeta. Una fotografía como ésta resulta de inapreciable valor para los planetólogos, ya que permite establecer el origen de las rocas, cuyas formas se aprecian con bastante claridad.



construidos por una raza de superingenieros que intentaban, de esta artificiosa forma, distribuir por todo el planeta las aguas procedentes de los casquetes polares de Marte. Muchos fueron los que desafiaron sus ideas.

Alfred Russel Wallace (naturalista inglés precursor del evolucionismo) pensaba que Marte era un lugar demasiado frío y seco como para que existiese vida. Muchos astrónomos admitieron que no eran capaces de comprobar la existencia de dichos canales, y los que decían verlos dibujaron mapas tan distintos y contradictorios de éstos que se sospechó cada vez más que se trataba de una ilusión óptica originada por la dificultad que conlleva la observación del planeta rojo a través de la atmósfera terrestre.

El misterio de los canales no se resolvió definitivamente hasta que se produjo el desarrollo de la exploración espacial.

Recientes descubrimientos Cuando, en los años sesenta, Estados Unidos y la

Unión Soviética comenzaron a lanzar satélites no tripulados hacia Marte, pocos científicos creían ya en la existencia de los mencionados canales. Pero persistía una fuerte creencia en la posibilidad de que hubiera vida vegetal, aunque muy primitiva, en la superficie de Marte.

Las primeras investigaciones realizadas por las sondas no fueron muy esperanzadoras. El *Mariner 4*, que fue la primera sonda que realizó una misión en Marte (1965), pasó cerca del planeta y envió 21 fotografías en las que Marte aparecía como un planeta similar a la Luna, lleno de cráteres, sin ningún rastro de vida o canales y con una atmósfera aún más ligera de lo que se esperaba. Las tres sucesivas aproximaciones de sondas tipo *Mariner* lo confirmaron.

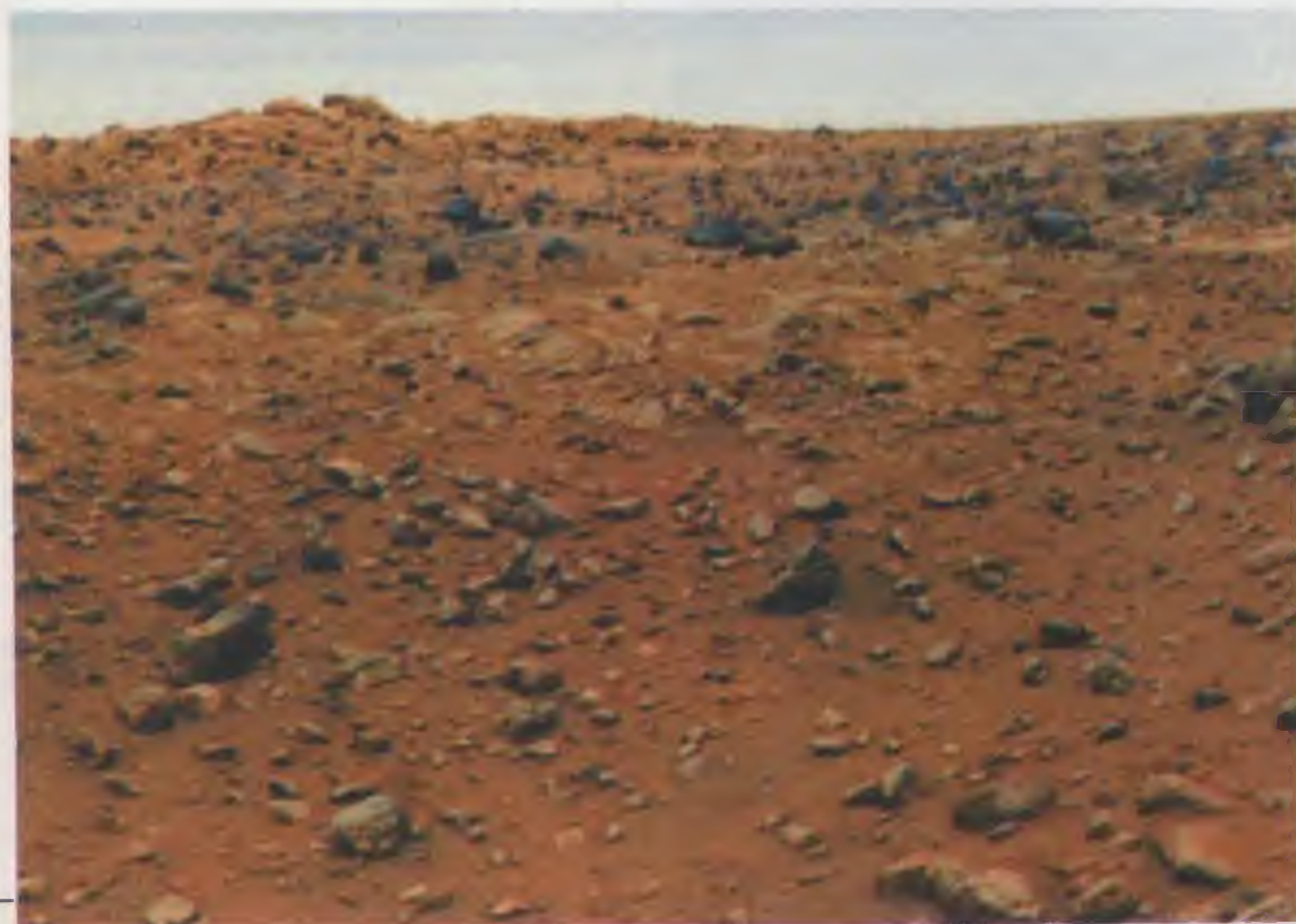
Las misiones espaciales de la Unión Soviética a Marte se vieron dificultadas por problemas técnicos y suministraron escasa información.

Pero el *Mariner 9*, que entró en órbita alrededor de Marte en 1971, demostró que

sus predecesores sólo habían fotografiado las partes menos interesantes del planeta. Después de una enorme tormenta de arena, el *Mariner 9* envió fotografías de montañas volcánicas como el Monte Olimpo, cuya altura es tres veces la del Everest, y de enormes desfiladeros como el Vallis Marinaris o Valle del Mariner, de 4.000 km de longitud y 6.000 m de profundidad, con un trazado tan sinuoso que muchos científicos piensan que se trata de un antiguo lecho de río.

No había aún indicios de vida, pero el hecho de que Marte hubiera podido albergar ríos y quizá océanos en el pasado sostenía aún la posibilidad de que la vida hubiese podido existir en el planeta antes de crearse las rígidas condiciones actuales.

Estas esperanzas se extinguieron, casi definitivamente, en 1976, cuando Estados Unidos hizo posar dos vehículos espaciales no tripulados sobre la superficie del planeta. Los *Viking I* y *II* enviaron impresionantes fotografías del rojo paisaje marciano bajo fantásticos cielos rosas, que



confirmaron que los casquetes polares estaban compuestos principalmente de agua (en lugar de óxido de carbono, como pensaban algunos), y que sólo había escasos indicios de oxígeno en la atmósfera.

Los experimentos realizados por cada vehículo, proyectados para buscar vida microscópica, dieron resultados ambiguos o negativos y la mayoría de los científicos ya no cree que pueda existir vida en Marte. Algunos sostienen aún la teoría de que puede haber vida en zonas aisladas o "microambientes". Pero tales hipótesis tendrán que esperar a que se lleven a cabo nuevas misiones sobre el planeta rojo, probablemente el primer planeta que será visitado por seres humanos y no sólo por sus emisarios mecánicos.

Véase Asteroide; Astronomía; Astronomía para aficionados; Júpiter; Mercurio (planeta); Neptuno; Planetas; Plutón; Radioastronomía; Sistema Solar; Saturno; Tierra; Urano; Venus

Martillo neumático

Un equipo de hombres provisto de picos y mazos tendría que trabajar un día entero excavando la roca para lograr realizar solamente una mínima parte de lo que se puede hacer con un martillo neumático, con una excavadora que funciona con aire comprimido, con una perforadora de rocas, o bien con una taladradora. El martillo neumático es una de las herra-

A la derecha, un martillo neumático de accionamiento manual. A su lado vemos un moderno demoledor de tipo medio-pesado. En la página siguiente, arriba, esquema de funcionamiento de un martillo neumático. En A vemos cómo el aire comprimido que entra a través del conducto descendente imprime al émbolo un movimiento hacia arriba. En B, después que el émbolo ha subido, se invierte la posición de la válvula. En C, el aire comprimido fluye en la cámara superior y empuja hacia abajo el émbolo, que en D descende golpeando el vástago de la herramienta de percusión. Finalmente, el aire entra en la cámara inferior, empezando de nuevo el ciclo. Debajo, un potente demoledor hidráulico que se monta sobre máquinas operadoras.



mientas que, utilizando la energía del aire comprimido, permite suavizar un trabajo tan duro. Este instrumento puede ser igualmente accionado de forma manual; sin embargo, utilizando la energía del aire comprimido, enviado a su interior a través de tuberías, esta máquina puede desarrollar una potencia de alrededor de 54.000 julios por minuto. Esta potencia es transmitida a una herramienta de percusión que trabaja a un ritmo de 2.000 golpes por minuto.

Funcionamiento El aire comprimido que acciona los martillos neumáticos se obtiene mediante la ayuda de un compresor. Este es accionado por un motor que aspira el aire a presión atmosférica y lo comprime, aumentando su presión hasta

un valor de varias atmósferas. El aire así comprimido es enviado a través de un tubo flexible, oportunamente reforzado, desde el compresor a la válvula de entrada del martillo. El flujo de aire que entra en el cuerpo del martillo neumático es regulado mediante una válvula situada a la entrada de la herramienta. Con una palanca situada en la empuñadura del martillo se manobra el cierre o apertura de la válvula de entrada. Con la válvula abierta, el aire entra en la parte alta de la cámara del cilindro y con su presión empuja el émbolo, que es el elemento que recibe y transmite el movimiento. Este émbolo está generalmente compuesto por un cuerpo metálico de forma cilíndrica, cuya parte superior es plana, que se aloja perfectamente en un cilindro hueco más largo, que se llama *cámara*. El émbolo o pistón puede moverse hacia adelante o bien hacia atrás en la cámara (en algunos modelos se desliza a lo largo de un eje con acanaladuras en forma de espiral, que imprimen a la herramienta de percusión un movimiento de rotación). Cuando el émbolo llega al final de su carrera, golpea contra el extremo del vástago de la herramienta, que a su vez percute contra la roca o el cemento. En dicha posición el émbolo abre un taladro situado en la pared del cilindro, llamado *lumbrera de escape*, que

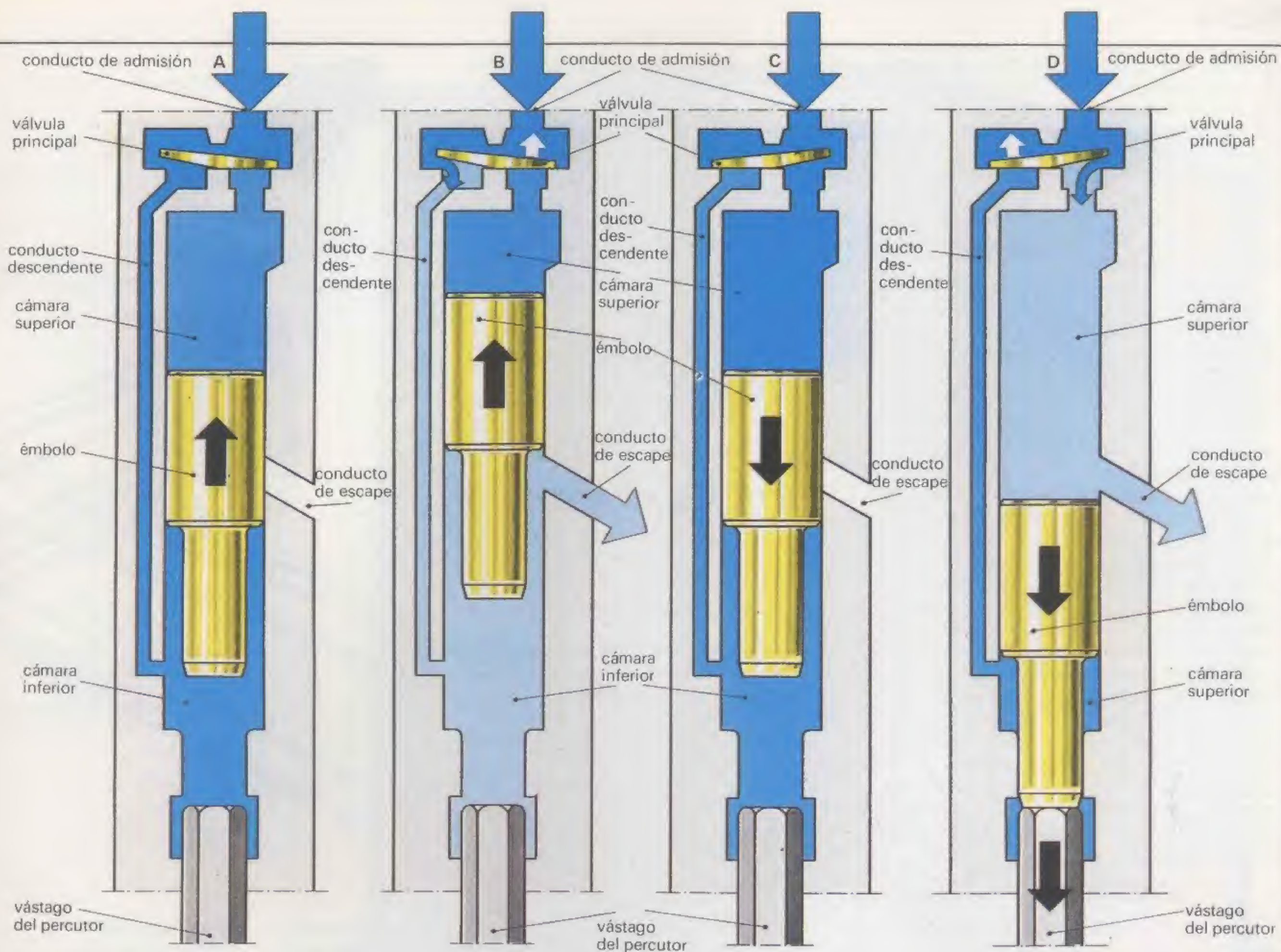
permite la salida al exterior del aire comprimido después de presionar sobre el émbolo.

El esquema de funcionamiento es similar al de una bomba de bicicleta, aunque aplicado de forma inversa: evidentemente, mientras en la bomba hay una fuerza que mueve el émbolo en el interior del cilindro y que hace salir el aire a presión por una extremidad, en el martillo neumático es el aire comprimido el que empuja el émbolo contra el vástago del percutor produciendo así la fuerza. Una vez que la presión del aire empieza a descargarse a través del conducto de escape, la válvula principal interrumpe el flujo de aire que



entra en la cámara superior del émbolo y, al mismo tiempo, permite la entrada del aire comprimido en la cámara situada en la extremidad opuesta del pistón. Esta cámara está alimentada por un conducto paralelo al cilindro, que permite que el flujo entre en éste precisamente debajo de la posición inferior alcanzada por el émbolo en su desplazamiento. De esta forma, el aire que entra presiona debajo del émbolo, empujándolo hacia arriba. La presión que empuja el émbolo en sus desplazamientos se mantiene constante gracias a la continua alimentación de aire comprimido. El aire que empuja el pistón hacia arriba empieza a salir al exterior a través de la lumbrera de escape cuando el émbolo vuelve a su posición inicial en la parte alta del cilindro. Al mismo tiempo, la válvula que envía el flujo a la cámara inferior se cierra mientras la válvula que introduce el aire en la parte superior del cilindro se abre nuevamente, empezando todo el ciclo.

Rotación del vástago del percutor Mientras el vástago del percutor es golpeado por el émbolo, éste le transmite también un movimiento de rotación que es regulado mediante un sistema de rueda libre situado en la parte inferior del martillo neumático. Dicho sistema está



compuesto por unas ruedas dentadas y unos rodillos cilíndricos. Las ruedas están constituidas por unos dientes con un flanco inclinado mientras que el otro tiene una forma tal que la entrada del rodillo impide su rotación. Cuando la rueda gira en un determinado sentido, los rodillos se deslizan sobre los dientes; sin embargo, cuando la rueda tiende a girar en el sentido opuesto, los rodillos se clavan en los dientes impidiendo su rotación. Por lo tanto, cuando el émbolo se mueve hacia abajo a lo largo de la barra acanalada, transmite su rotación al vástago de la herramienta, la cual gira, ya que la rueda libre le permite una rotación en sentido antihorario; sin embargo, cuando el émbolo inicia su movimiento hacia arriba, los rodillos de la rueda libre bloquean el giro de la barra aunque el émbolo gire siguiendo el acanalado helicoidal.

Existen diferentes tipos de martillos neumáticos, que, aunque sean sustancialmente análogos, difieren entre sí, sobre todo en el peso. Se utiliza un martillo ligero, de 11 kg, para trabajos de menos envergadura sobre ladrillo o cemento, mientras que perforadoras más pesadas, que llegan a los 25 kg, se emplean en la construcción de carreteras.

Véase **Compresor de gas**



Masa

Imaginemos una cápsula espacial en un punto alejado de la Tierra, en el espacio, donde todos los campos gravitacionales son extremadamente débiles: los astronautas en el interior de la cápsula se lanzan pequeños objetos empujándolos suavemente con los dedos y se mueven flutuando apoyándose en sus manos; esto muestra que el peso no es un atributo permanente de la materia.

Un objeto con un cierto peso en la Tierra pesará mucho menos en la Luna, donde la *fuerza gravitacional* es sólo un sexto de la de la Tierra. En una cápsula espacial, donde las condiciones son las de la gravedad prácticamente a cero, en cuanto nos encontremos lejos de cualquier cuerpo celeste los objetos no pesarán casi nada. Esto ocurre porque el peso está determinado por la fuerza gravitacional. Sin embargo, todos los objetos y los propios astronautas tienen siempre la misma cantidad de materia. La materia, en base a su propiedad llamada *masa*, posee *inercia* o resistencia a ser puesta en movimiento si está en reposo, o resistencia a cambiar su velocidad si se encuentra en movimiento. Para un astronauta es fácil poner en movimiento lápices u otros objetos de pequeña masa, incluido su propio cuerpo; pero cuando se empieza a construir la primera estación espacial orbitante, se necesitarán máquinas potentes para mover las grandes vigas necesarias para su construcción, aunque aparentemente dichas vigas no tengan peso.

Cómo se mide la masa Hay dos formas de medir la masa de un objeto. Una consiste en medirla con una simple *balanza*, instrumento que permite establecer comparaciones con otras masas tomadas como patrón. Debido a acuerdos internacionales, el patrón de masa en el sistema métrico decimal es llamado *kilogramo*; dicho patrón está constituido por un cilindro de platino-iridio conservado en la Oficina de Pesos y Medidas de Sèvres (Francia). La masa de dicho patrón corresponde aproximadamente a la masa de un decímetro cúbico de agua destilada a la temperatura de 4 °C; las otras unidades de masa se definen con relación a ésta. La *libra* es la unidad de masa utilizada en los países anglosajones; su valor es de 453,592 gramos. La masa de un objeto referida a los anteriores patrones se denomina *masa gravitacional*. Si la masa de un objeto se mide en relación con su resistencia frente a acciones que tiendan a modificar su estado de movimiento, recibe el nombre de *masa inercial*.

Newton y otros científicos de su tiempo llegaron a la conclusión de que la masa inercial y la masa gravitacional de un mismo objeto son proporcionales entre sí, y Einstein demostró que masa gravitacional y masa inercial son la misma cosa.

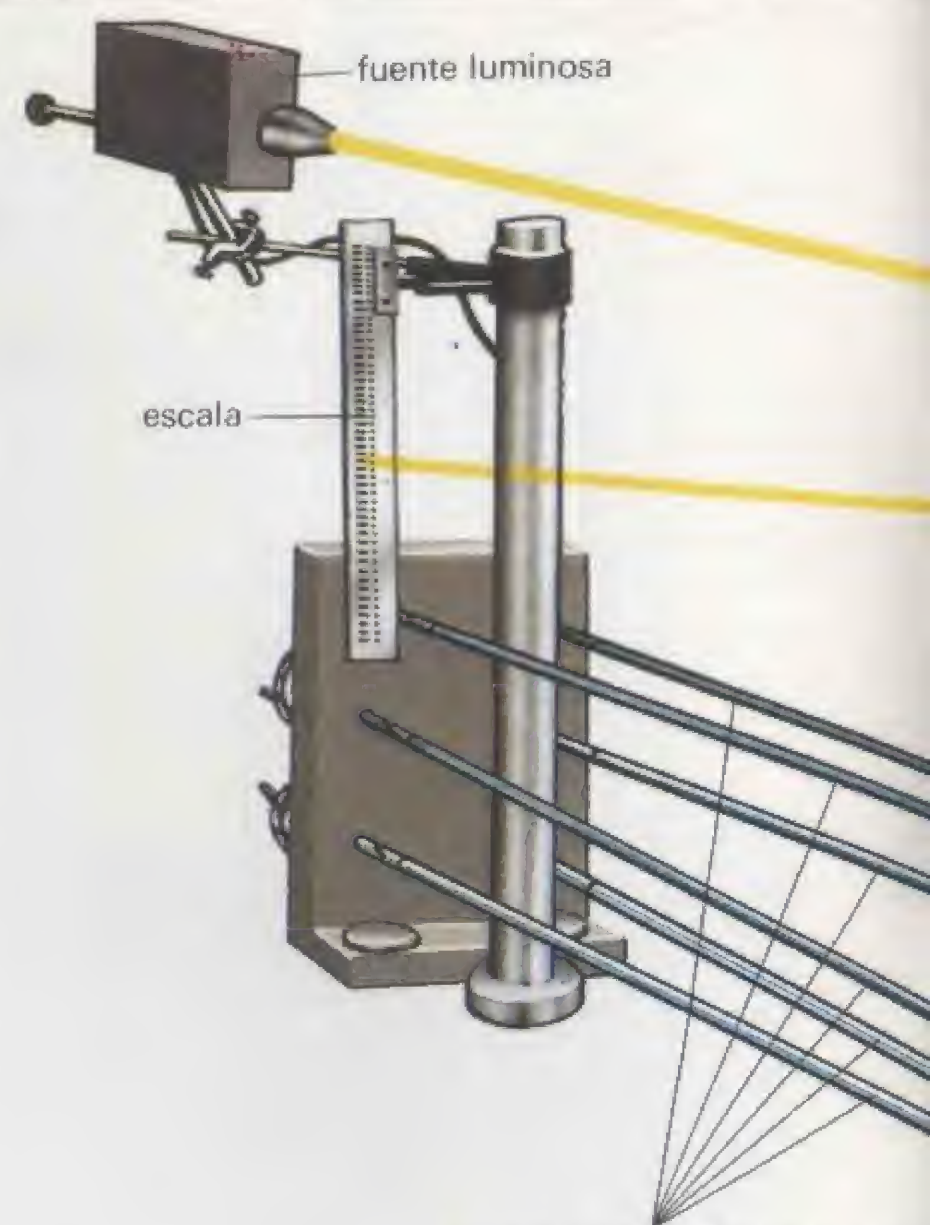
Energía y masa Ya antes de los descubrimientos de Einstein, los científicos consideraban *masa* y *energía* como cosas distintas, lo cual parece ser confirmado

por la experiencia. La energía consumida para lanzar una piedra o para mover un automóvil no parece de ninguna manera producir un aumento de las masas de estos objetos. Sin embargo, en 1905 Albert Einstein llegó a la conclusión de que, bajo ciertas condiciones, la masa se transforma en energía y viceversa, y encontró que la relación que rige estas conversiones sigue la ecuación $E=mc^2$ (la energía es igual a la masa por la velocidad de la luz elevada al cuadrado). Dicho de otra manera, masa y energía son aspectos diferentes de una misma cosa, a veces llamada *energía de masa*.

La relación entre masa y energía resulta más evidente cuando los objetos considerados se mueven a altas velocidades: cuanto mayor es su energía de movimiento, mayor es la masa que adquieren y más difícil resulta modificar su estado de movimiento. Por esta razón, los científicos distinguen entre la *masa en reposo* de un objeto y la *masa relativista* del mismo, es decir, su masa cuando se encuentra en movimiento.

Las transformaciones de masa y energía pueden ser observadas en los aceleradores de partículas, en los cuales pequeñas partículas materiales se transforman en energía y viceversa. Los físicos designan a menudo una partícula por su energía —equivalente a su masa en reposo— antes que por su masa. La masa, que en un tiempo fue considerada como inmutable y eterna, es vista ahora como un aspecto de un ente más general que podemos llamar *masa-energía*.

Véase **Gravedad y gravitación; Inercia; Relatividad restringida ($E = mc^2$)**

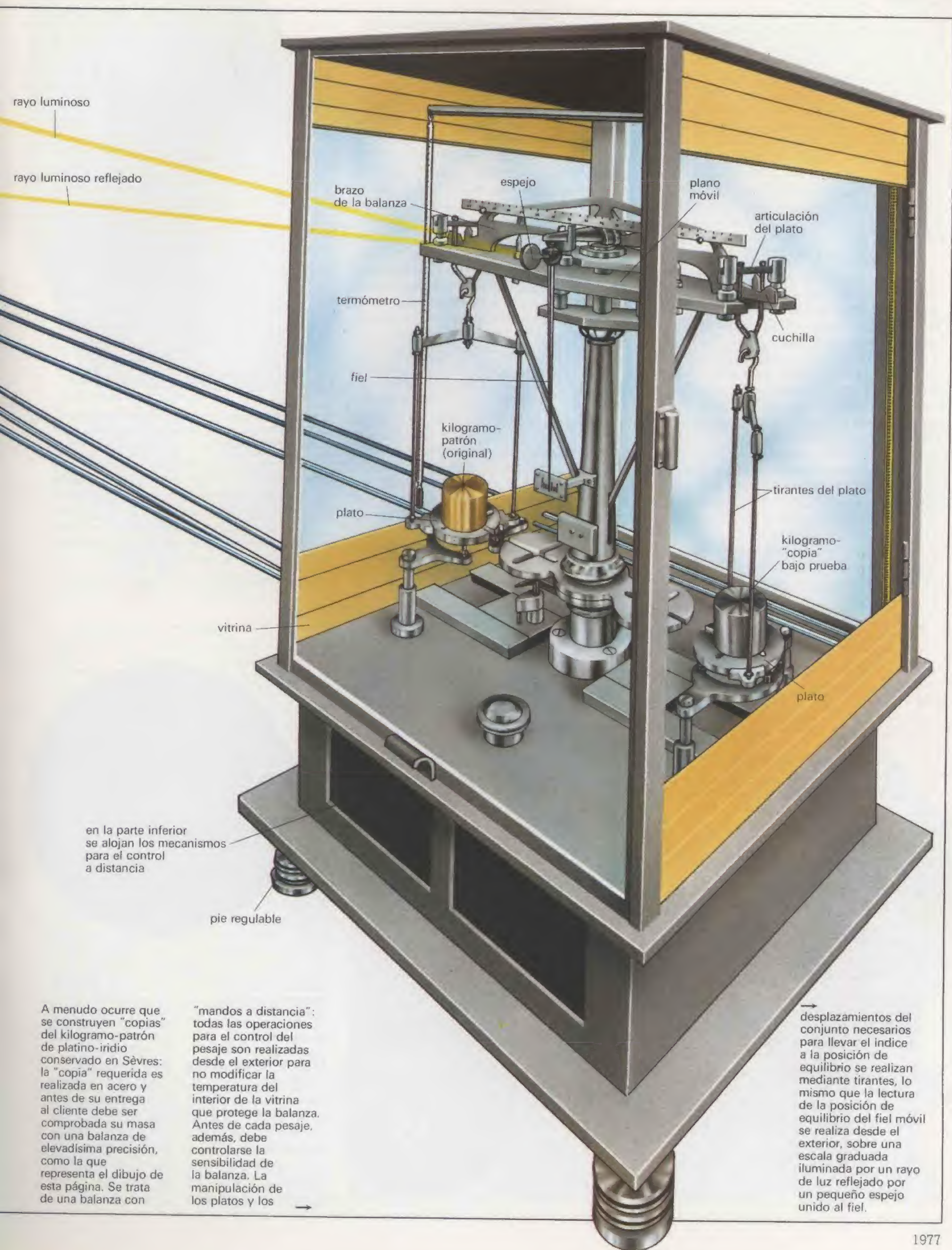


tirantes para la manipulación a distancia (permiten realizar todas las operaciones necesarias para determinar el peso y la comparación de los patrones)

En las tablas de abajo se representa, para el Sol, para los planetas del Sistema Solar y para la Luna, las respectivas gravedades (referidas a la gravedad de la Tierra, tomada igual a 1) y el peso que tendría un hombre que sobre la Tierra

pesa 70 kg si se encontrase sobre la superficie de dichos planetas (recordemos que el peso varía pero no la masa). También se indica (a la derecha) lo que podría saltar un hombre que en la Tierra es capaz de saltar un metro (100 cm).

CUERPO CELESTE	GRAVEDAD	PESO EN LA TIERRA (kg)	PESO EN EL CUERPO CELESTE (kg)	CUERPO CELESTE	GRAVEDAD	SALTO POSIBLE (cm)
Sol	27,90	70	19,53	Sol	27,90	3,56
Mercurio	0,37	70	25,9	Mercurio	0,37	270,27
Venus	0,88	70	61,6	Venus	0,88	113,63
Marte	0,38	70	26,6	Marte	0,38	263,15
Júpiter	2,60	70	182	Júpiter	2,6	42,73
Saturno	1,15	70	80,5	Saturno	1,15	86,95
Urano	1,17	70	81,9	Urano	1,17	85,47
Neptuno	1,18	70	82,6	Neptuno	1,18	84,74
Plutón	0,50	70	35			
Luna	0,16	70	11,2	Luna	0,16	625



A menudo ocurre que se construyen "copias" del kilogramo-patrón de platino-iridio conservado en Sèvres: la "copia" requerida es realizada en acero y antes de su entrega al cliente debe ser comprobada su masa con una balanza de elevadísima precisión, como la que representa el dibujo de esta página. Se trata de una balanza con

"mandos a distancia": todas las operaciones para el control del pesaje son realizadas desde el exterior para no modificar la temperatura del interior de la vitrina que protege la balanza. Antes de cada pesaje, además, debe controlarse la sensibilidad de la balanza. La manipulación de los platos y los

desplazamientos del conjunto necesarios para llevar el índice a la posición de equilibrio se realizan mediante tirantes, lo mismo que la lectura de la posición de equilibrio del fiel móvil se realiza desde el exterior, sobre una escala graduada iluminada por un rayo de luz reflejado por un pequeño espejo unido al fiel.

Masa crítica

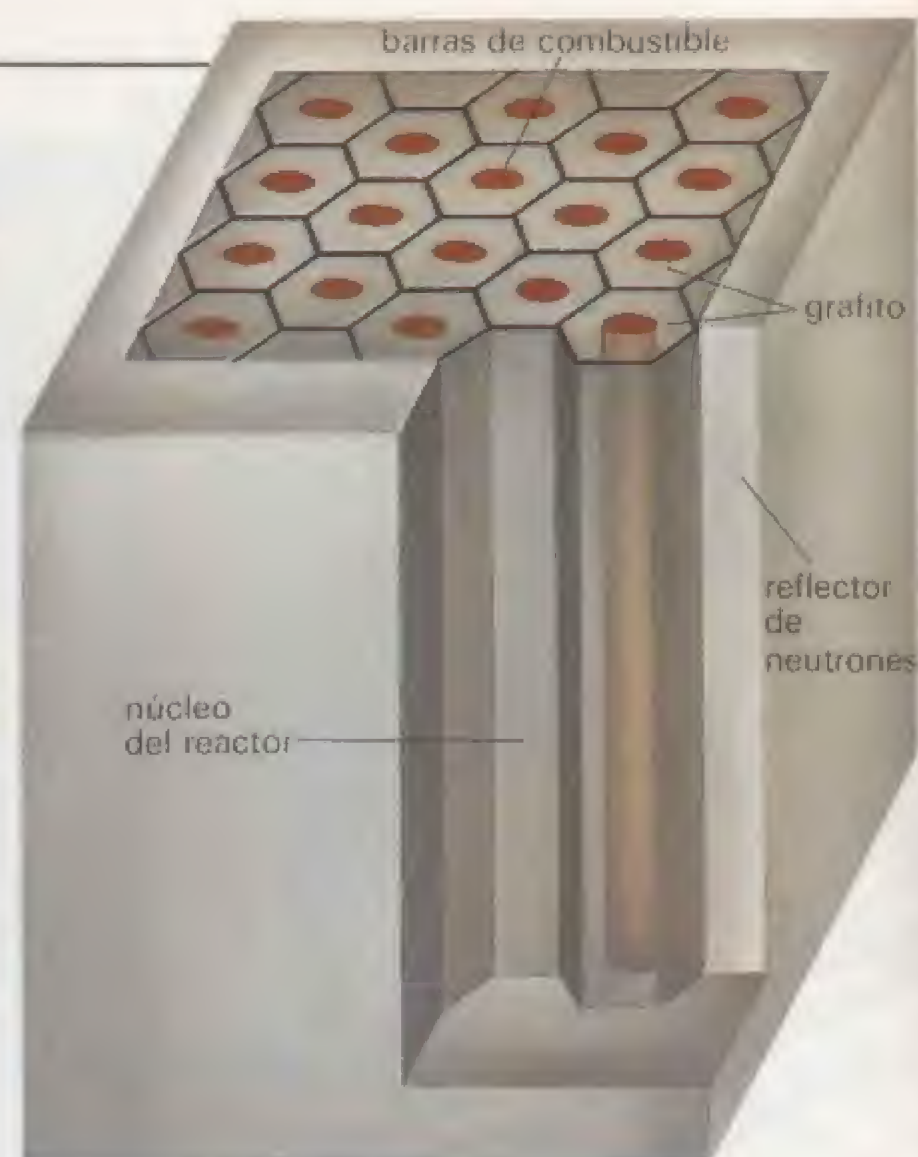
La cantidad de uranio contenida en la bomba que destruyó Hiroshima el 5 de agosto de 1945 tenía las dimensiones aproximadas de un balón de rugby y pesaba unos 60 kg. Se trataba de una bomba bastante primitiva comparada con las actuales, que pueden ser construidas con cantidades mucho menores de uranio (de 5 a 6 kg). La cantidad mínima de uranio o de otro combustible nuclear necesaria para dar lugar a una liberación de energía en cadena se conoce con el nombre de *masa crítica*.

Reacciones en cadena Un átomo consta de pequeñas partículas cargadas negativamente, llamadas *electrones*, que giran alrededor de un centro mucho más pesado, llamado *núcleo*. Dicho núcleo, a su vez, contiene partículas con carga positiva, llamadas *protones*, y partículas sin carga (neutras), llamadas *neutrones*. Todos los átomos de un determinado elemento tienen un número fijo de protones en el núcleo, mientras que el número de neutrones puede variar. Las formas de un mismo elemento con igual número de protones, pero distinto número de neutrones, se llaman *isótopos* del elemento. Los isótopos son designados por su número de masa, que representa el número de protones y neutrones en el núcleo.

Algunos elementos son radiactivos, es decir, sus átomos son inestables y los núcleos de los mismos emiten espontánea-

mente partículas de alta energía. Un elemento de este tipo es el isótopo del uranio con número de masa 235, aunque la cantidad de radiactividad que emite por sí mismo es pequeña. El uranio-235, además, al capturar un neutrón libre en determinadas condiciones se escinde, es decir, el núcleo se divide en dos partes de dimensiones parecidas, emitiéndose en el proceso 2 ó 3 neutrones y cierta cantidad de energía. Esta escisión del núcleo recibe el nombre de *fisión nuclear*.

En la Naturaleza, el uranio-235 es muy poco abundante, por no decir muy escaso. Más del 99% de todo el uranio presente en la Naturaleza está constituido por un isótopo con número de masa 238, mientras que sólo el 0,7%, es decir, un átomo sobre 140, es uranio-235. Aunque también es radiactivo, el uranio-238 no es fisible como el 235. Esto significa que cuando se produce la fisión de un átomo de uranio, lo cual ocurre en la Naturaleza de forma espontánea a un ritmo bajo, se libera únicamente una pequeña cantidad de energía total, ya que los neutrones producidos por la fisión tienen escasísimas posibilidades de chocar con otros átomos de uranio 235, y sigue siendo así para muchas concentraciones isotópicas, incluso mayores que 1 sobre 140. La cantidad de uranio-235 en dichas condiciones se dice *subcrítica*. Sin embargo, a concentraciones mayores del isótopo uranio-235 puede originarse una reacción en cadena. En este caso, los dos



El núcleo del reactor aquí arriba representado dispone de una envoltura de grafito intercalada entre el material fisible, así como de una pared de material reflector envolviendo al conjunto, a fin de facilitar al máximo las condiciones de criticidad, imprescindibles para

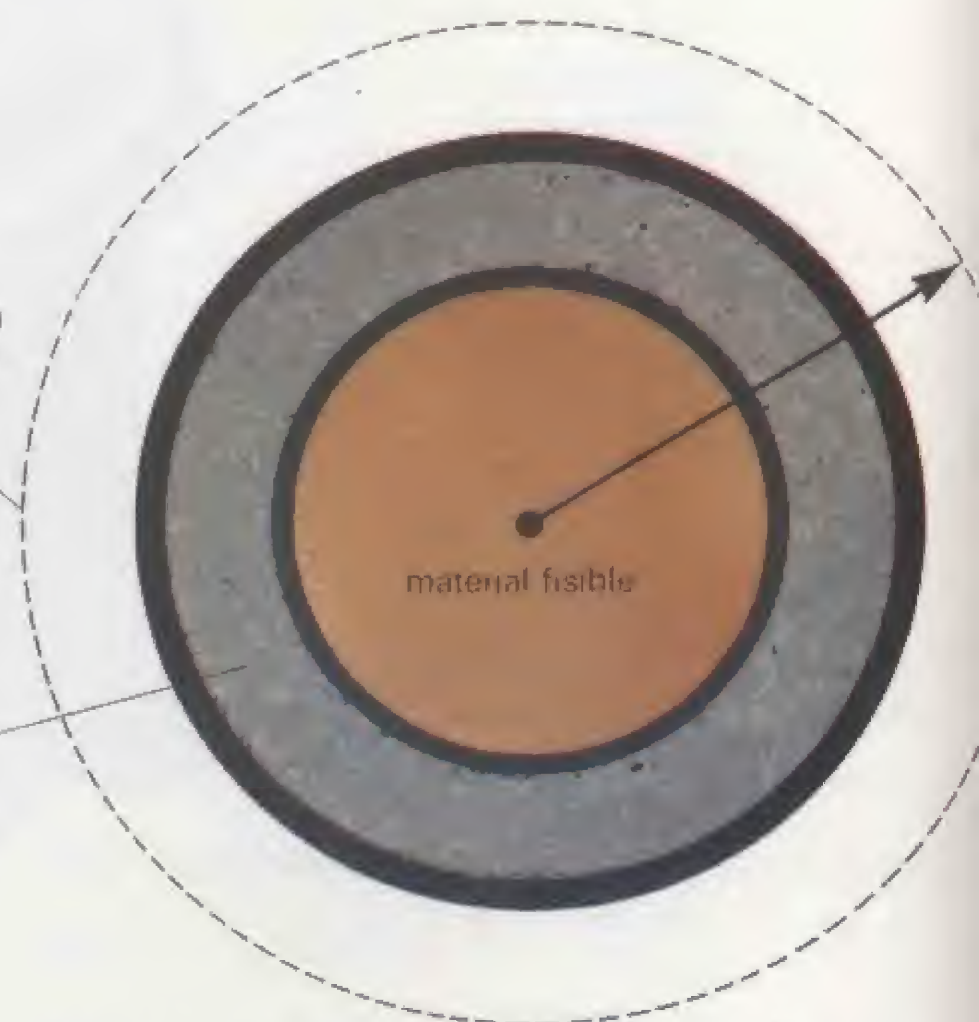
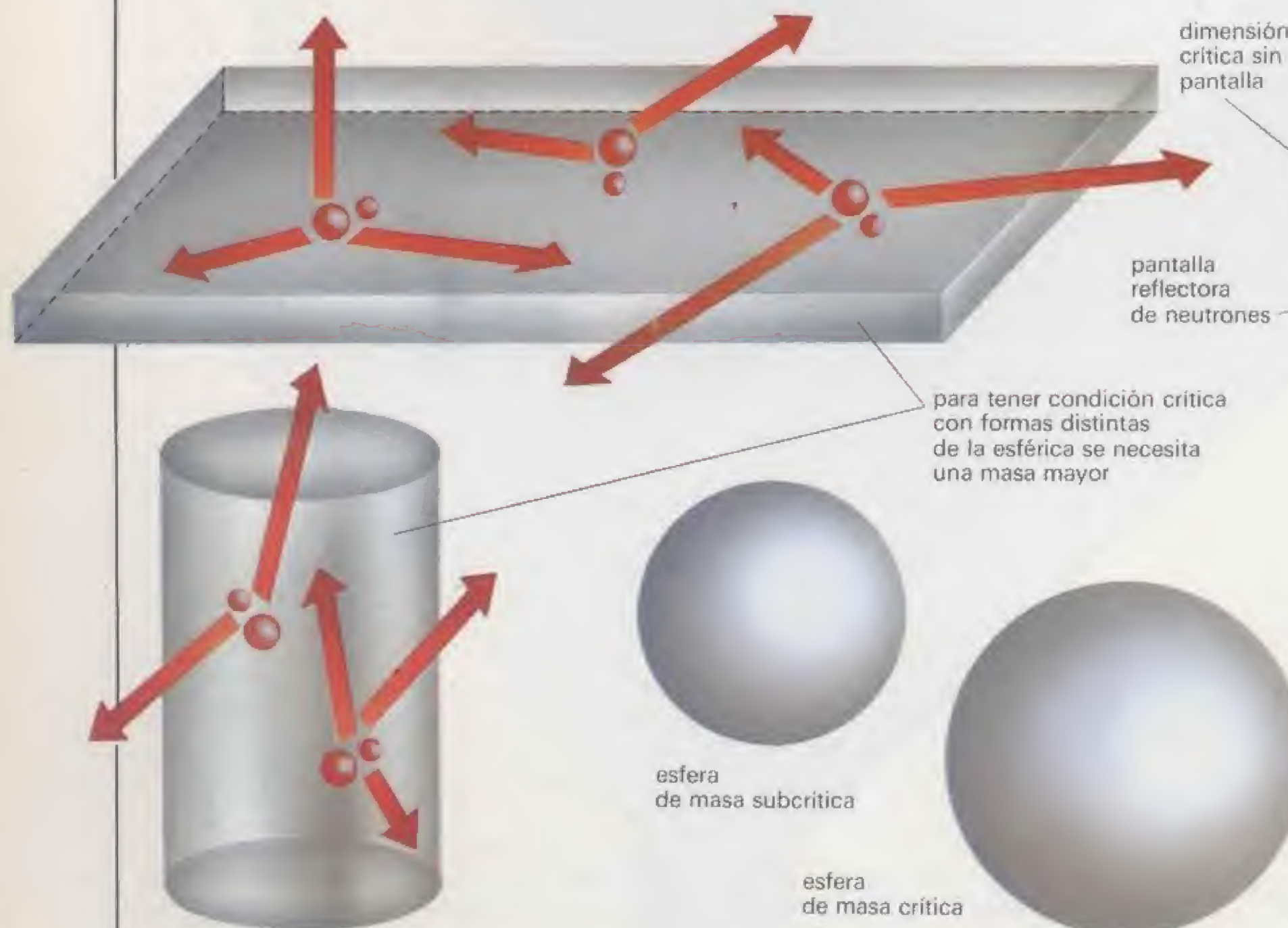
su funcionamiento. Otras barras de un material absorbente de neutrones, llamadas *barras de control*, permiten, al deslizarse entre el apilamiento, regular y frenar el flujo de neutrones, deteniendo la reacción o moderándola, pero manteniéndola bajo control en todo momento.

A la derecha de estas líneas, esquema de una esfera de material fisible, como el uranio o el plutonio. La esfera ha de ser lo

suficientemente grande como para permitir a los neutrones liberados encontrar otros núcleos fisibles en circunstancias

adecuadas. El tamaño mayor representado en la parte inferior correspondería al volumen crítico de material puro. Este tamaño crítico puede

reducirse sensiblemente si se utilizan pantallas reflectoras de neutrones, como se indica en el dibujo (parte interior).



A la izquierda, varias formas de masas de material fisible que pueden constituir masas críticas para reacciones de fisión. En cada forma se necesita un tamaño mínimo para que los neutrones liberados en el interior puedan producir otras fisiones; pero en el caso de un tamaño inferior al crítico, neutrones liberados por fisiones en la periferia acabarán por escapar y

la reacción en cadena no se sostendrá. La esfera constituye la forma geométrica para la cual la masa crítica es menor. Si se distribuye la misma masa de la esfera en un volumen cilíndrico, se necesitará una masa mayor porque los neutrones, en este caso, tienen mayores probabilidades de escapar, y mayores aún si la masa se distribuye en una placa delgada.

o tres neutrones liberados por el átomo que ha sufrido la fisión pueden chocar con otros átomos cercanos de uranio-235 y ser absorbidos por éstos, produciendo asimismo su escisión. Los neutrones liberados por estos últimos átomos, a su vez, producen la fisión en un número aún mayor de átomos, produciéndose cada vez más neutrones. En cada paso del proceso se libera una cantidad de energía progresivamente creciente. La concentración de uranio-235 que permite comenzar dicha reacción en cadena se llama *crítica*.

La masa crítica, o cantidad de material necesaria para producir el comienzo de la reacción en cadena, depende de múltiples factores. Entre dichos factores, los fundamentales son la naturaleza del material fisible, su concentración isotópica, la forma geométrica en que se presenta y la estructura del material circundante.

Naturaleza del material El uranio-235 no es más que uno de los materiales fisibles conocidos, aunque son pocos los aptos para su utilización. Los más empleados son el uranio-235 y el plutonio-239. Las diferencias en la estructura de sus núcleos atómicos imponen ciertas variaciones en el proceso de fisión: entre ellas, que el número medio de neutrones liberados por cada escisión no es exactamente el mismo, siendo mayor en el caso del plutonio. Por ello, y aun suponiendo concentraciones isotópicas muy enriquecidas, la masa crítica no coincide en ambos casos.

Concentración isotópica Tal como se ha descrito anteriormente, se requieren unas concentraciones mínimas del isótopo fisible para que puedan darse las condiciones de la masa crítica que resulte en función de dichas concentraciones. Estas concentraciones no son valores fijos, ya que dependen de los demás factores que influyen en el proceso. Para la fabricación de bombas nucleares se requieren concentraciones isotópicas muy altas.

Forma geométrica Debido a que el fenómeno de la reacción en cadena es, en definitiva, un proceso de probabilidad de impactos neutrónicos con átomos fisibles, la forma geométrica de un mismo material y sus condiciones físico-químicas pueden incidir sobre el comportamiento neutrónico. Una misma cantidad de material fisible puede llegar a ser crítica o no, según su configuración geométrica. La forma geométrica de mayor probabilidad de fisión —y para la cual la masa crítica será la menor— es la esférica, a igualdad de los demás factores.

La estructura del material circundante Muchos de los neutrones liberados en la reacción de fisión escapan hacia el exterior, en la superficie externa del material fisible. Cualquier sustancia que rodee al citado material y que tenga las propiedades de reflejar neutrones, o de moderar su velocidad —para el caso de material fisible con neutrones térmicos

(moderados), como es el del uranio-235—, favorecerá la reacción en cadena y disminuirá el valor de la masa crítica. Así, una cierta masa de uranio-235 de concentración isotópica suficiente puede ser crítica en el aire y llegar a ser crítica cuando se introduce en el agua. Esto no puede ocurrir, sin embargo, con el uranio tal como se da en la Naturaleza, porque su concentración no es suficiente.

En el caso de las bombas atómicas, interesa reducir el peso al mínimo posible. Utilizando material fisible de un alto grado de enriquecimiento y una envoltura metálica reflectora de neutrones, puede llegarse a masas críticas del orden de los 5 kg para el uranio y de 2 kg para el plutonio. Han de estar expresamente diseñadas para que la energía de la fisión en ca-

dena se libere de una sola vez y de forma incontrolada. Por el contrario, el diseño de una central nuclear para el aprovechamiento controlado de la energía de fisión es esencialmente distinto. Es imposible, por las propias leyes físicas, que una central nuclear haga explosión como una bomba atómica, fundamentalmente por las siguientes diferencias: el grado de enriquecimiento del material fisible es mucho menor; dicho material está fraccionado y repartido en mucho mayor espacio; existen otros materiales y sustancias que lo impiden, correspondientes a la distinta concepción de funcionamiento.

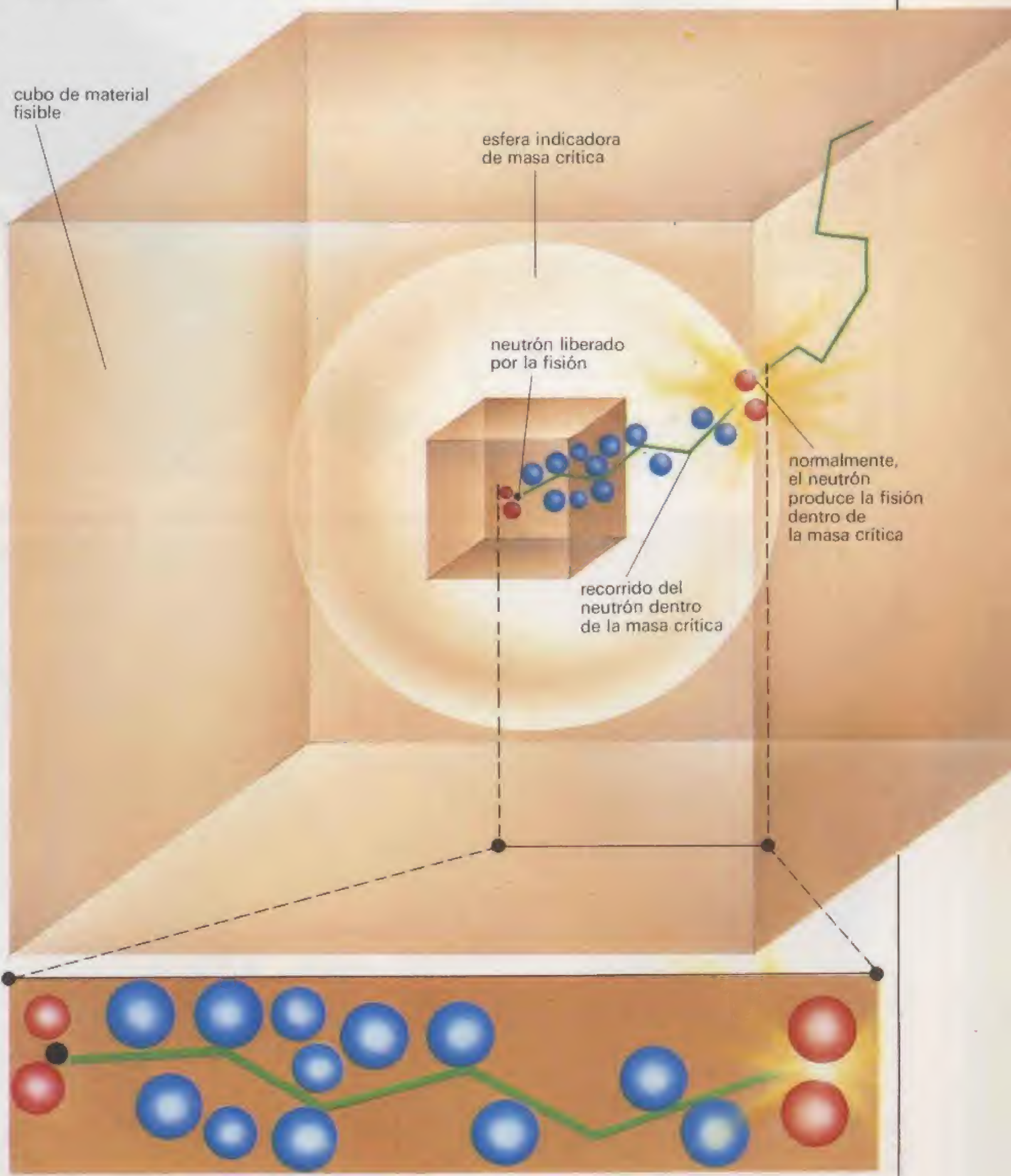
Véase **Fisión nuclear; Plutonio; Reacción nuclear; Uranio**

Una masa teóricamente infinita, o muy grande en la práctica, de material fisible siempre

sería crítica, porque un neutrón liberado en el centro se movería chocando con núcleos atómicos por todas

partes, desviándose y frenando su marcha hasta que chocase en las condiciones adecuadas con un

núcleo, produciendo su escisión. Este fenómeno es el que se describe en la ilustración de abajo.



Máscara antigás

La aparición de la máscara antigás se produjo durante la I Guerra Mundial, cuando comenzó la utilización de gases tóxicos y de otras armas químicas con fines bélicos. Las primeras máscaras antigás constaban de la máscara propiamente dicha y de un tubo que comunicaba con un recipiente lleno de carbón vegetal que se colocaba sobre la espalda. Posteriormente, durante la II Guerra Mundial, fueron desarrolladas máscaras antigás más perfeccionadas. Sin embargo, ninguno de los bandos llegó a utilizar los gases venenosos más potentes que durante ese intervalo de tiempo habían sido producidos.

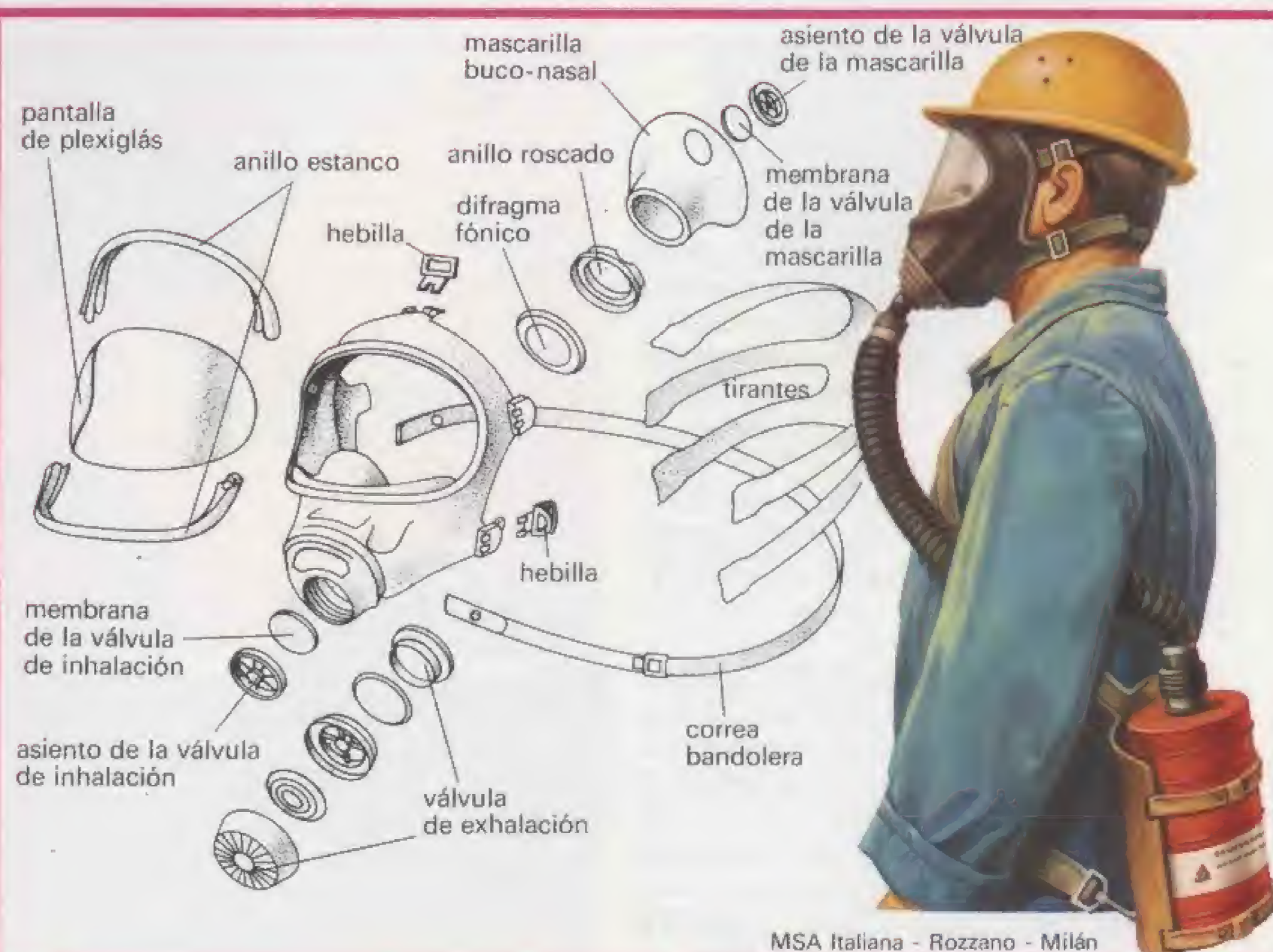
La máscara antigás es utilizada también para otros fines distintos al bélico. Los menos peligrosos gases lacrimógenos, que irritan los ojos o el aparato respiratorio, son a veces utilizados por las fuerzas policiales para controlar las muchedumbres tumultuosas; en ese caso los policías suelen utilizar las caretas antigás. Las máscaras antigás son empleadas también —como protección— por los bomberos, por los miembros de los equipos de salvamento y por los trabajadores de las minas y de las industrias químicas.

Hay tres tipos principales de máscaras antigás: máscaras que filtran y eliminan los gases tóxicos del aire, máscaras unidas a tomas de aire exteriores o bombonas de aire comprimido y máscaras que "reciclan" la respiración del usuario.

Máscaras de filtro La máscara antigás militar es del tipo con filtro. Consiste en una máscara de goma que cubre la cara, con unos oculares de plástico para los ojos, una válvula de inspiración de aire (que permite al aire entrar a través del filtro), una válvula de espiración para expulsar el aire inspirado y una válvula fónica para hablar con el exterior.



A la derecha, máscara antigás. Esta ofrece una protección suficiente contra los gases asfixiantes y venenosos, con tal que no ataquen la piel, en cuyo caso se necesita un traje tipo buzo que cubra todo el cuerpo. Una máscara como esta puede llevar un filtro antipolvo, filtros contra varios tipos de sustancias tóxicas (en la figura de abajo, uno para vapores orgánicos o ácidos, o amoníaco). Si se trata de sustancias que exigen un filtro más grande, éste es transportado colgado de la cintura y está unido a la máscara mediante un tubo. Una válvula especial permite oír la voz del usuario y un sistema de circulación del aire previene el empañamiento.



MSA Italiana - Rozzano - Milán

Los gases tóxicos pasan a través de un filtro antigás, envuelto de forma cilíndrica o troncocónica (con la base forrada o permeable a los gases, que puede ser cerrada con un tapón y atornillada por su parte superior a la máscara). El material absorbente utilizado es el carbón vegetal, que filtra y purifica el aire. Se pueden añadir distintos aditivos que permiten al carbón vegetal absorber venenos específicos. Los filtros pueden contener capas de cal sodada: una mezcla de cal apagada e hidróxido de sodio que desactiva los gases tóxicos del tipo de los utilizados en la I Guerra Mundial —cloro, fosfógeno (COCl_2) e iprita (una combinación de carbono, hidrógeno, azufre y cloro)—. El carbón activado del filtro puede ser también tratado con sales de plata, cobre y cromo para favorecer la descomposición de los gases que no son fácilmente absorbidos por el carbón. Capas de fieltro u otros materiales fibrosos son colocadas delante del carbón para retener las partículas sólidas contenidas en los humos.

En las iniciales máscaras de la I Guerra Mundial el filtro estaba unido a la máscara mediante un tubo que se aplicaba a la boca y a través del cual respiraba el soldado, mientras que una pinza de nariz le impedía respirar por ésta para no empañar los oculares. En las máscaras actuales el filtro se atornilla directamente a la máscara, y el empañamiento de las lentes se evita haciendo circular el aire en otra dirección o mediante un disco antivaho.

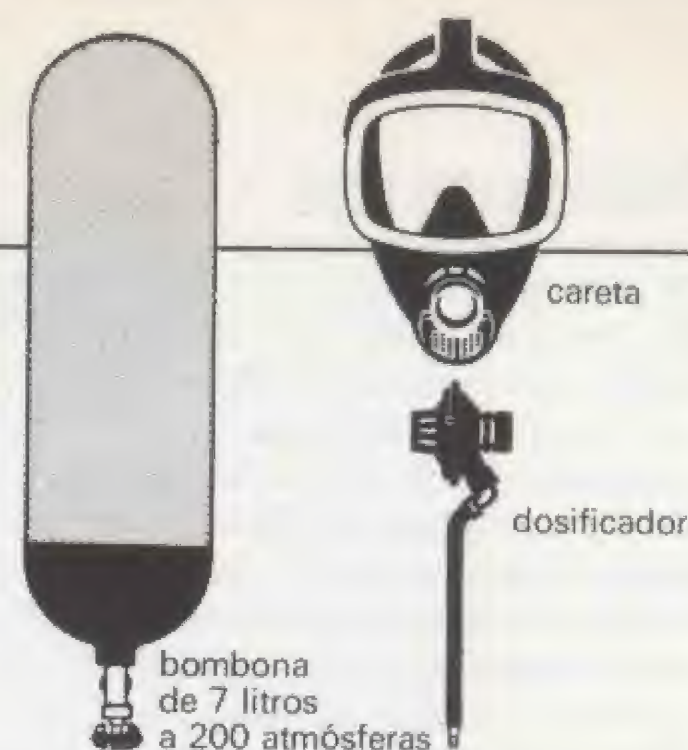
En todas las máscaras de filtro son muy importantes las válvulas de descarga, que impiden que el aire espirado vuelva a pasar a través del material absorbente. Si este aire pasara a través del filtro, su fuerte humedad saturaría rápidamente el carbón y los otros materiales absorbentes, cuyas prestaciones disminuirían mucho.

La mayor parte de las máscaras militares no protegen del monóxido de carbono. Sin embargo, si al filtro se le añade hopcalita —un catalizador formado por una mezcla de bióxido de manganeso, óxido de cobre, óxido de cobalto y óxido de plata—, el monóxido de carbono puede ser neutralizado.

Otros medios de protección Cuando la atmósfera presenta un bajo contenido en oxígeno (por debajo del 16%), como puede ocurrir en un lugar cerrado (grandes depósitos, cisternas, túneles, minas, cámaras con atmósfera controlada) o en el agua, se utilizan máscaras con toma de aire exterior o autoprotectores. En el primer tipo, la máscara está unida por un largo tubo a una bomba que coge el aire de un lugar donde está limpio.

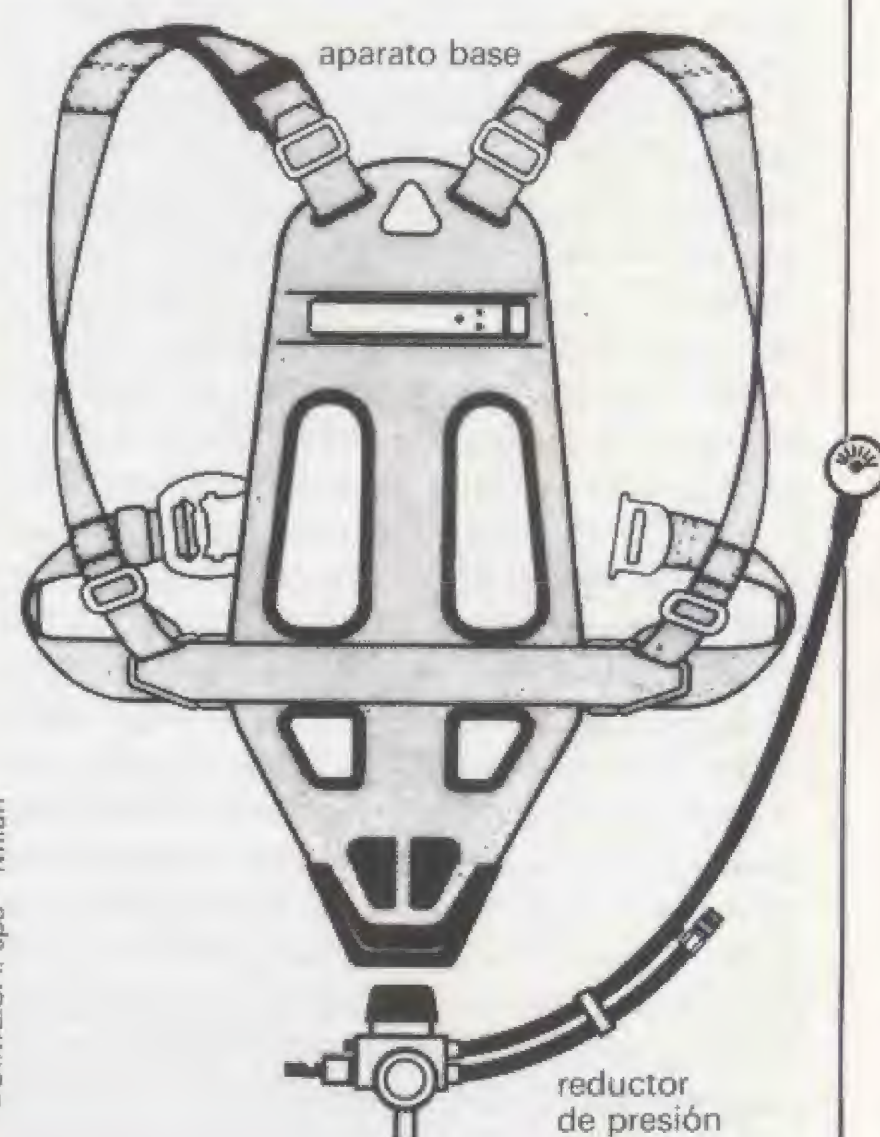
Los autoprotectores pueden ser de dos tipos: de *ciclo abierto*, cuando la máscara está unida directamente —a través de un sistema de válvulas— a una bombona de aire comprimido portátil, que suministra aire según las necesidades respiratorias del usuario, mientras el aire espirado es expulsado mediante una válvula de espiración; o de *ciclo cerrado*, en los que la máscara está unida por dos tubos a una pequeña mochila que contiene un filtro cargado con compuestos —como el peróxido de sodio—, que absorben el dióxido de carbono espirado y reaccionan con agua espirada, liberando también oxígeno, que es nuevamente inspirado; o bien poseen un cartucho de hidróxido de sodio (que absorbe el dióxido de carbono y el vapor de agua espirados y una pequeña bombona de oxígeno (que lo suministra automáticamente en cantidad equivalente al aire respirado por el usuario).

Véase **Gases; Guerra química**



En atmósferas peligrosas de las que no se conoce la composición de las fracciones venenosas se utiliza una máscara que sirve como respirador y que toma el aire de una bombona a 200 atmósferas. Con dos

bombonas de 7 litros se tiene una autonomía superior a una hora. Arriba, bombona y máscara con empalme para la entrada del aire; abajo, atalaje para la bombona y el reductor de presión.



CO.MESA, spa - Milán

A la izquierda, partes de la máscara sin cubrecara. Se construye de forma que la adhesión anatómica sea perfecta, pero sin presentar salientes que puedan dañar la piel en el punto de apoyo. Además, se trata de una goma muy flexible, resistente a los aceites y a las cremas que se untan en la cara. La persona que lleva la máscara utiliza un filtro de CO que se lleva colgado a la cintura. La misma máscara puede usarse para la respiración con ciclo completamente cerrado o con aire comprimido suministrado por una bombona. A la derecha, semimáscara para polvos y gases venenosos en baja concentración (los modelos son de uno y dos filtros).



BLS, Milán

El pastor prehistórico, que cuenta su ganado, y el astronauta de nuestro tiempo, que realiza complicados cálculos en el ordenador de a bordo de su vehículo espacial, están separados por una enorme distancia sociocultural; sin embargo ambos hacen uso de modos de razonamiento sobre la cantidad y el espacio de los calificados como *matemáticos*. La Matemática es, quizá, la más extendida, universal y útil de las disciplinas teóricas. Se piensa, incluso, que los seres de otros mundos —si existiesen— tendrían una matemática esencialmente (salvo notaciones y detalles) análoga a la nuestra y que en esa analogía posiblemente estaría la mayor posibilidad de comunicación con ellos.

Pero ¿qué es la Matemática? Es absurdo pretender dar una definición apriorística de la misma inteligible para el profano y aceptable para el iniciado, dado lo problemático que resultan sus objetos abstractos y sus métodos y el carácter histórico de los mismos. Así, resulta completamente vacía, por ejemplo, la definición que da el *Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua*, como "ciencia que trata de la cantidad", o la que se podía encontrar hasta hace poco en los manuales escolares, como "la ciencia del número y del espacio", y que, en cierto modo, refleja la idea del "hombre de la calle". Pero tampoco son más útiles las definiciones, con ciertas pretensiones, de algunos textos modernos y obras de divulgación, cuando se refieren a las matemáticas como "lenguaje universal", "disciplina lógica", etc.

Quizá la raíz de los malentendidos esté en la doble perspectiva que cabe adoptar ante la Matemática (como ante cualquier ciencia viva). Para el profano, incluso culto, como para el propio conocedor de sus aplicaciones, las matemáticas representan un conjunto de técnicas y métodos sobre unos objetos determinados que se prestan a ciertas utilidades prácticas. Para el matemático se trata, por el contrario, de un conjunto de problemas en constante evolución y expansión.

Este problematismo no es reciente, no nace con el gran desarrollo matemático de los últimos siglos de la cultura occidental, ni siquiera con la extraordinaria eclosión de la Matemática mal llamada "moderna" o con la inflación mundial de publicaciones de las últimas décadas. No, el problema ha existido siempre. Para los griegos la *Matemática* era lo que hacían los *matemáticos*, que no eran sino los *cultivadores* de la ciencia o "*matema*". Los pitagóricos, que fueron según la tradición los acuñadores del término "matemático" —que utilizaban para autodenominarse—, cultivaban conjunta y confusamente la Filosofía (otro término pitagórico), la Música, la Matemática y, también, la Moral y la Política; en cierto sentido, Matemática y Filosofía se identificaban entre sí y venían a significar conocimiento o ciencia. Desde entonces (hace veinticinco siglos) la Matemática ha ido tecnificándose y especializándose, ha aumentado a la vez su claridad y su abstracción, abandonando toda

veleidad metafísica, pero sin dejar de relacionarse con el saber humano y mostrando una aplicabilidad universal para la explicación científica de la realidad.

Objetos y métodos matemáticos Parece evidente que si la Matemática trata de unos ciertos objetos —número, orden, espacio, función, etc.— podría definírsela como la ciencia de los mismos. Sin embargo, hay que observar dos hechos fundamentales que se oponen a tal posibilidad:

Primero. Los objetos de la matemática son abstractos, no "existen" en el mundo material del que tenemos experiencia inmediata, aunque tengan su origen (a veces muy remoto) en la idealización de aspectos empíricos de la realidad, y, por otra parte, pretendan servir de modelos para la explicación científica de esa realidad.

Segundo. Los temas de que se ha ido ocupando la matemática han variado a lo largo de su historia. Un conocido matemático francés, Kuntzmann, señala cómo para los griegos las matemáticas eran sólo la Geometría y la Aritmética; para los matemáticos del siglo pasado, el Análisis y sus aplicaciones geométricas y mecánicas; y para los actuales, un edificio basado en dos pilares: Álgebra y Topología. Hoy mismo es una cuestión controvertida la de la auténtica extensión de la Matemática. Los que el citado autor llama "puristas" se resisten a admitir casi nada, aparte de los mencionados "pilares" mientras que, según él, otros considerarían la Lógica formal, la Lingüística matemática, la Programación, la Contabilidad y la Econometría como disciplinas matemáticas.

Resulta, pues, que no sólo es problemática una definición apriorística y pretendidamente comprensiva, sino que para los propios expertos es discutible una definición *a posteriori* y meramente descriptiva por el carácter complejo, vario, abstracto e histórico del objeto de las Matemáticas.

Por otra parte, aunque no haya unanimidad en explicar profundamente en qué consiste la esencia del llamado método *axiomático*, sí parece que la hay en opinar que es el mismo el que caracteriza —por encima de las posibles mutaciones históricas, temáticas y epistemológicas— a la Matemática. Con independencia de los posibles orígenes empíricos que pueda tener una teoría matemática, de su propia validez y de sus posibles complejidades, a cualquiera que se enfrente con ella se le presenta como una serie de enunciados (*teoremas*) deducidos por métodos exclusivamente lógico-formales de un conjunto —normalmente muy reducido— de proposiciones admitidas sin demostración (*axiomas*).

En esto consiste el tan traído y llevado método axiomático (que algunos suponen invención moderna y que en lo esencial ya usaba, aunque imperfectamente desde la perspectiva actual, Euclides) aceptado universalmente, con independencia de las discusiones sobre su significación, alcance, etc., de un modo consciente por todos los matemáticos contemporáneos, y de

una forma más o menos lúcida y clara a lo largo de todas las etapas de la *Matemática histórica*.

La evolución de la Matemática Resulta imposible en pocas líneas describir cuál ha sido la evolución histórica de la Matemática. Es, sin embargo, factible dar una visión sintética de sus grandes líneas.

El hombre prehistórico, con toda probabilidad, adquirió de modo empírico los conceptos de número y forma geométrica. Estos, en un principio, tuvieron un carácter más bien cualitativo; por ejemplo, los pueblos primitivos sólo distinguen entre *uno*, *dos* y *muchos*. Sólo más tarde se debió aprender a distinguir los números y a construir los más altos por adición. El desarrollo de las actividades humanas más avanzadas —agricultura, comercio, etc.— supone la necesidad de determinar distancias, áreas, volúmenes, y, por supuesto, la de medir el tiempo y usar rudimentarios conocimientos astronómicos. Surgen entonces medios de contar y calcular, como ábacos, incisiones, etc.

Esta Matemática primitiva adquiere una cierta consistencia, como cuerpo organizado de conocimiento, en las grandes civilizaciones antiguas, preferentemente en Mesopotamia y Egipto, aunque también en la India, el Extremo Oriente, así como en la América precolombina.

La Matemática babilonia y egipcia, seguramente sin alejarse demasiado de sus orígenes empíricos y de sus aplicaciones prácticas, merece ya un gran respeto. Por ejemplo, entre los babilonios se encuentran resueltos problemas de segundo grado; ellos fueron los creadores del sistema sexagesimal y de la idea de dar a las cifras —o signos numéricos— distinto valor según su posición. Por su parte, los egipcios avanzaron notablemente en el cálculo de áreas y volúmenes. De hecho conocían reglas que equivalen a nuestras fórmulas y manejaban una aproximación aceptable para el número π , el valor $(16/9)^2 = 3,1605$.

La Matemática de los pueblos primitivos y de las grandes civilizaciones antiguas, a pesar del notable desarrollo alcanzado por la misma en éstas, no pasa en realidad de ser una especie de Protofísica rudimentaria, no ya por los resultados que conoce —muchas veces acertados e interesantes— sino por sus métodos y orientación prácticos, empíricos, concretos, parciales y particularistas. La Matemática sólo se hace digna de dicho nombre, y por tanto teórica, abstracta, general y lógico-deductiva, en Grecia. Por múltiples razones —de estructura económica, sociales, políticas, culturales, etc.— surge en Grecia el pensamiento filosófico y la Matemática a partir del siglo VI a. de C.; en un principio, Tales y los jónicos, enseguida, Pitágoras y su escuela, van dando los primeros pasos de la ciencia que ha llegado a ser la Matemática tal como la entendemos hoy. Muchos de los resultados obtenidos por los griegos eran realmente conocidos en otras culturas, por ejemplo,



en Egipto; sin embargo, ellos los sistematizan, los generalizan, los sitúan en un contexto abstracto y los *demuestran*. De hecho, los griegos son primordialmente geómetras y sólo secundariamente aritméticos. Sus dificultades para la representación y cálculo numéricos impiden que su Aritmética se desarrolle grandemente. Sus prejuicios filosófico-matemáticos fueron, por otra parte, un obstáculo para el uso de números irracionales, a pesar de haberse los encontrado en sus problemas geométricos.

Alrededor del año 300 a. de C. Euclides escribe sus *Elementos*, que pueden considerarse como el primer libro de Matemática moderna. A partir de un conjunto de *axiomas* y *postulados* (hoy diríamos simplemente *axiomas*) obtiene, de un modo lógico-deductivo, los teoremas de la Geometría, tal como se han conocido durante los dos milenios siguientes. Otros grandes matemáticos griegos —como Arquímedes, genial geómetra y precursor del Cálculo integral, o como Apolonio, estudioso de las cónicas— sentaron las bases del desarrollo matemático posterior.

Tras el período helenístico de la historia antigua y la caída del Imperio Romano, el saber matemático y filosófico entra en una fase de relativo adormecimiento, que dura alrededor de un milenio. India, China y el mundo islámico se convierten, en este período, en focos importantes de conocimiento matemático. Concretamente hay que resaltar que los árabes realizan



En las ilustraciones se reproducen: un mural de Abd-el-Qurna (ca. 1500 a. de C.) mostrando el proceso de medir grano; las columnas del templo de Karnak, orientadas de modo que el sol naciente del solsticio de verano brillase rectilíneo entre ellas; y parte del famoso

papiro Rhind (ca. 1650 a. de C.) en el que el escriba Ahmes copió trabajos más antiguos; en ella se calcula el volumen de un granero cilíndrico con una fórmula equivalente a la actual, con π aproximado por $(16/9)^2 = 256/81 = 3,1605$.



una tarea trascendental. Por una parte, recogen, traducen, comentan y, en algunos casos, aportan ampliaciones a los resultados geométricos y aritméticos de los griegos. Por otra parte, hacia el siglo IX toman de la India conocimientos tan importantes como el algoritmo decimal, incluido el uso del *cero*, para la representación y cálculo numéricos, y crean, sobre precedentes indios y griegos, el Álgebra.

Las Cruzadas, los contactos mercantiles en el Mediterráneo y la convivencia en la península Ibérica de cristianos, judíos y musulmanes van permitiendo que el saber matemático de los antiguos y de los árabes vaya penetrando en Europa. El algoritmo decimal, los avances en el Álgebra, la Aritmética y la Astronomía, los primeros atisbos de las coordenadas van desarrollándose y difundiéndose lentamente, a lo largo de los siglos XII al XVI en Europa, por obra de hombres como *Fibonacci* u *Oresme*. En el siglo XVI se obtienen ya importantes resultados algebraicos, gracias a matemáticos italianos como *Tartaglia* o *Cardano* y, sobre todo, se da un salto de gigante al introducirse, por el francés *Viète*, notaciones y símbolos para operaciones y variables análogos a los actuales, con lo que el Álgebra (y, con ella, la Matemática en su totalidad) deja de ser *retórica* —verbal— para ser *simbólica*.

Este último avance permite el nacimiento, en el siglo XVII, de la Geometría analítica y del Cálculo. *Descartes* y, en cierto modo, *Fermat* reducen los problemas geométricos a algebraicos gracias a la correspondencia entre puntos y números proporcionada por las coordenadas, ello abre el camino al primer concepto de *función* (como representación analítica de líneas geométricas). Sobre esta base *Newton* y *Leibniz* crean el Cálculo diferencial e integral, "inventando" los conceptos de *derivada* e *integral*, pilares de toda la ciencia fisicomatemática, y abriendo un capítulo de la Matemática que se convierte en el centro de la misma hasta nuestros días. También el siglo XVII ve el nacimiento del Cálculo de probabilidades, de la mano de *Fermat* y *Pascal*. De hecho este siglo es el de la recreación —tras su nacimiento griego— de la Matemática.

Durante el siglo XVIII una pléyade de grandes matemáticos —los *Bernoulli*, *Euler*, *Laplace*, etc.— desarrollan el Análisis en múltiples aspectos (por ejemplo, en el muy importante de las ecuaciones diferenciales), así como el Cálculo de probabilidades y la Geometría analítica, y las aplicaciones de todas estas nuevas matemáticas a la Mecánica y la Ciencia natural en el sentido que *Galileo* y *Newton* habían emprendido. No obstante, también se desarrollan nuevos campos, como el de la Geometría proyectiva.

En el siglo XIX, que algunos presagiaban en el anterior como el del final de los grandes descubrimientos, se produjeron acontecimientos trascendentales. El gran *Gauss*, *Lobachevsky*, *Bolyai* y *Riemann* crean las geometrías no-euclídeas, lo que tiene consecuencias incalculables al libe-

La determinación de áreas y volúmenes reduciendo los mismos a figuras menores (idea base del propio cálculo integral) es muy antigua. El matemático chino del siglo XVI Chu-Shu-Hsüe, descomponía así una pirámide en diez capas de pequeñas esferas.



rar, ya definitivamente, la imaginación matemática y poner de manifiesto el sentido profundo del método axiomático. Cauchy en Francia y Dirichlet, Riemann, Weierstrass, etc. en Alemania disciplinan el Análisis, dándole rigor en torno a conceptos clave, como el de *límite*. El joven, genial y malogrado Galois crea el concepto de *grupo*, con el que inaugura el Álgebra moderna. Boole y Morgan inician la Lógica matemática. Dedekind da un concepto riguroso de número real y Cantor crea la teoría de conjuntos. Hacia fines de siglo da sus primeros pasos la Topología (o, como decía Poincaré, uno de sus creadores, el *Analysis Situs*) y el Análisis funcional.

Los últimos años del siglo XIX y, sobre todo las primeras décadas del XX, asisten a la importante labor del gran Hilbert que, desde Göttingen, desarrolla importantes capítulos del Análisis, da una nueva y rigurosa formulación a la Geometría euclídea y lidera la escuela formalista de fundamentación de la Matemática.

Uno de los aspectos sociales más importantes de la matemática contemporánea es la difusión de sus actividades por

Los chinos reivindican el conocimiento del teorema de Pitágoras desde antiguo. La figura reproduce una placa de madera muy antigua del *Chu-pei Suan-ching*, en el que se da tal

teorema sin demostración (las primeras versiones del texto son varios siglos anteriores a nuestra era y reflejan los conocimientos que se tenían hacia 1100 a. de C.).

圖 左

勾實之矩九青



股實十六黃

todo el mundo. Actualmente, los principales focos matemáticos se encuentran en Estados Unidos, Europa occidental, Unión Soviética y Europa oriental, Japón, etc. En el siglo pasado se produjo la reincorporación a las actividades matemáticas de países como Italia (piénsese en el lógico y aritmético Peano, en los creadores del Cálculo diferencial absoluto a finales de siglo, Ricci y Levi-Civita, o en Volterra, uno de los padres —con el sueco Fredholm y con el genial Hilbert— del Análisis funcional). También Rusia se convierte en el siglo XX en centro de actividad matemática con cultivadores como Tchebichev, analista y probabilista de primera línea, Markov, también probabilista, Liapunov que demostró el "teorema central del límite", y la estudiosa de las ecuaciones diferenciales Sonia Kowaleska.

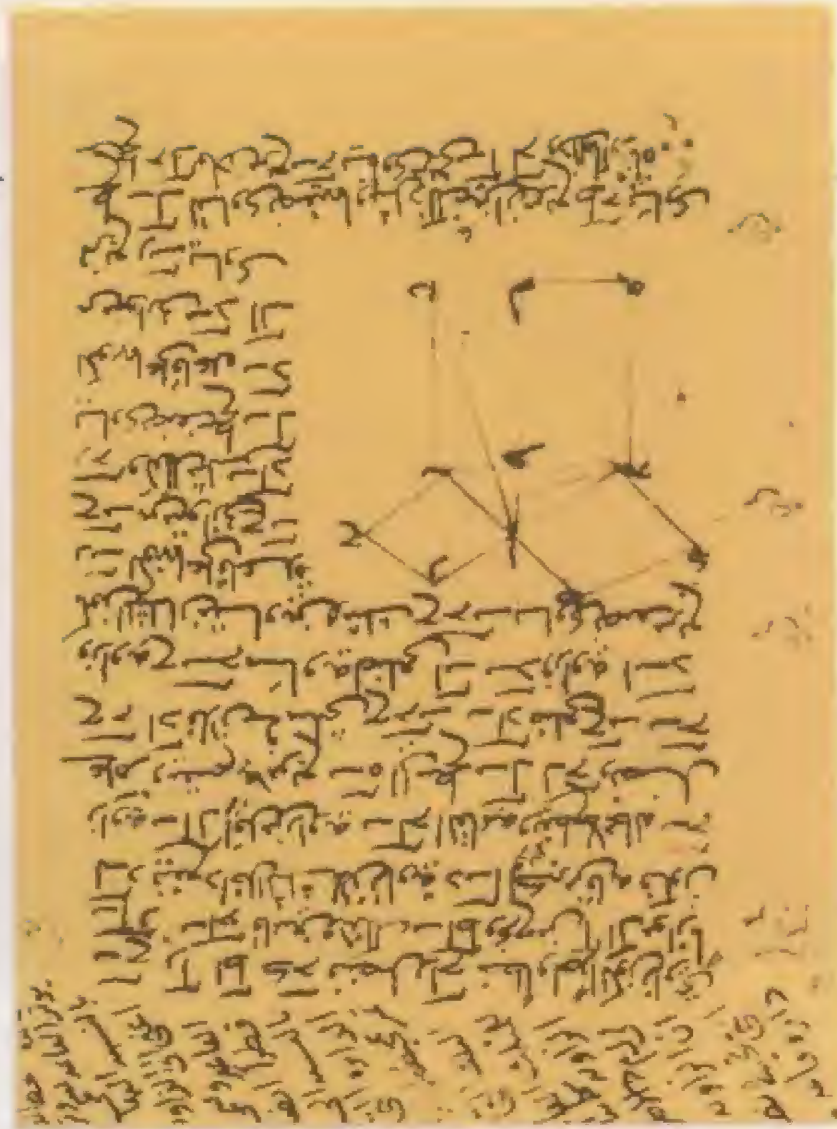
La Matemática en el siglo XX Sólo es posible aludir, con unas breves menciones, a los desarrollos propios del siglo XX, que son enormes y revolucionarios.

La teoría de conjuntos ha adquirido amplitud y coherencia por los esfuerzos de Zermelo, Fraenkel, Von Neumann, Hilbert, Gödel, etc. Ultimamente se ha demostrado la independencia (por Cohen, en 1963) de la *hipótesis del continuo*.

Una de las ramas de la Matemática que ha adquirido mayor desarrollo es el Álgebra, entendida no al modo clásico sino como teoría general de las estructuras de tipo operativo (grupos, anillos, cuerpos, etc.). La labor axiomatizadora de Hilbert ha sido continuada por los algebristas alemanes, franceses y, últimamente, estadounidenses: Artin, Noether (alumna de Weierstrass), Hasse, Krull, Van der Waerden, etc. La Topología es la parte de la Matemática más peculiarmente "tipo siglo XX", ya que, a pesar de las anticipaciones de Riemann y Poincaré, es una creación del siglo en que vivimos. El primer libro de conjunto sobre Topología general es de Hausdorff en 1914. El papel de la escuela de Moscú ha sido muy importante, al igual que el de la escuela francesa.

En el campo del Análisis los avances más importantes se han realizado en el Análisis funcional y en la teoría de la medida y la integral. Los principales cultivadores del Análisis funcional son Hilbert, Banach, Hahn, Riesz, Von Neumann, Schwartz, etc. Los desarrollos del mismo son una importante generalización del análisis clásico, que además son de suma trascendencia en el estudio de la Física moderna. La teoría de la integración recibe un fuerte impulso con la obra de Lebesgue, para enlazarse con el Análisis funcional a través de los trabajos de F. Riesz, Radon y Nikodym. La idea de la medida adquiere una importancia creciente poco después, debido a las ideas de Carathéodory y Haar.

Kolmogorov da una formulación, en 1933, de la axiomática del Cálculo de probabilidades como rama especializada de la teoría de la medida. Su fuerte peculiaridad y la importancia de las aplicaciones

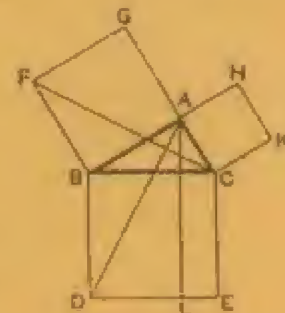


82

EUCLID'S ELEMENTS.

PROPOSITION 47. THEOREM.

In a right-angled triangle the square described on the hypotenuse is equal to the sum of the squares described on the other two sides.



Let ABC be a right-angled triangle, having the angle BAC a right angle: then shall the square described on the hypotenuse BC be equal to the sum of the squares described on BA, AC.

Construction. On BC describe the square BDEC: i. 46. and on BA, AC describe the squares BAGF, ACKH. Through A draw AL parallel to BD or CE: i. 31. and join AD, FC.

Proof. Then because each of the angles BAC, BAG is a right angle, therefore CA and AG are in the same straight line. i. 14.

Now the angle CBD is equal to the angle FBA, for each of them is a right angle.

Add to each the angle ABC: then the whole angle ABD is equal to the whole angle FBC.

La cultura occidental debe mucho a la herencia árabe, entre otras cosas la transmisión de la geometría griega. Obsérvese el parentesco entre un comentario árabe a los *Elementos*, de

fecha próxima a 1250, y una página del *Text-book of Euclid's Elements* de los ingleses Hall y Stevens, cuya primera edición es de 1888 (ambos relativos al teorema de Pitágoras).

han hecho que su desarrollo haya sido enorme en este siglo. La Estadística y la teoría de procesos estocásticos se desarrollan como capítulos de la vasta teoría de las probabilidades. En Europa occidental, Unión Soviética y Norteamérica, por no citar India y Japón, se da una amplísima nómina de probabilistas y estadísticos (Fréchet, Lévy, Gnedenko, Kolmogorov, Feller, Doob, Fischer, Ito, etc.).

En conexión con esta última cuestión es de señalar el enorme incremento que han experimentado los métodos de la Matemática aplicada (Física matemática, Economía matemática, Econometría, Biología matemática, etc.) y la aparición de nuevas

disciplinas matemáticas, como las que se agrupan —un tanto arbitrariamente— bajo el nombre de *Investigación operativa* (programación, juegos, grafos, etc.).

También experimenta la Geometría un notable avance durante este período. Tras el desarrollo por Hilbert de una Geometría que, siguiendo el método euclídeo, perfeccionaba por vez primera el contenido de los famosos *Elementos*, se abandona rápidamente dicha dirección, quedando englobada la Geometría elemental en el contexto del Álgebra lineal. Los progresos actuales en Geometría se realizan en las ramas de la Geometría algebraica y de la Geometría diferencial con el estudio de las variedades diferenciables.

Conviene, por último, señalar dos hechos de la actualidad matemática que manifiestan la tensión y vitalidad que presenta dicha ciencia en este momento. Por una parte, la enorme superproducción. Prueba de ella no es sólo la inmensa cantidad de revistas matemáticas (con miles y miles de artículos anuales) o la gran proliferación de textos y libros matemáticos, sino el nacimiento en lo que va de siglo de numerosas teorías nuevas, abstractas unas, en estrecho contacto con las aplicaciones otras. Recordemos algunas: teoría de algoritmos, teoría de autómatas, teoría del control, teoría de la decisión, teoría de grafos, teoría de la información, teoría de juegos, lingüística matemática, programación, etc. (aparte de las innovaciones en campos preexistentes que pueden considerarse recreados por los cambios experimentados: Lógica, Conjuntos, Álgebra, Geometría algebraica, Variedades diferenciables, Topología, Análisis funcional, Procesos estocásticos, etc.).

Por otra parte, la labor de sistematización y formalización (llevada a cabo muchas veces simultáneamente con la anterior y por los mismos autores) de todas las teorías existentes como desarrollos y aplicaciones de unas estructuras básicas. En esta labor, la voz cantante la tiene el grupo que, bajo la firma *Nicolas Bourbaki*, publica (aparte de algunos artículos y trabajos divulgatorios o metodológicos) la obra sistemática más importante desde los *Elementos* de Euclides: *Elements de Mathématique*.

Disciplinas y estructuras Insistiendo en la última consideración se hace necesario recordar que, durante siglos, las Matemáticas —en plural— eran un conjunto de ciencias que trataban primero del número y del espacio y más tarde de ecuaciones, funciones, etc. de modo más o menos especializado y que se caracterizaban por unos ciertos lenguaje y estilo comunes y, sobre todo, por la utilización de un mismo método lógico-deductivo. Aritmética y Geometría primero, luego Álgebra, Análisis, Cálculo de probabilidades, etc. eran los nombres de esas disciplinas.

Esa diversificación ha sido contenida a lo largo de la historia por diferentes fenómenos de unificación. Uno, trascendental, fue el de Descartes, al reducir la Geome-

tría al Álgebra; otro, el de Cantor, al permitir que conceptos como los de número, función, etc. se encuadrasen en el marco de la teoría de conjuntos. Hoy se da la paradoja de una diversificación extrema en múltiples disciplinas y aplicaciones junto con un sentido unitario extraordinario, obtenido por la utilización del *método axiomático*, la organización de todos los conocimientos matemáticos en torno al concepto de *estructura* y al uso de unas pocas *estructuras fundamentales*: las de *orden*, las *algebraicas* y las *topológicas*. Se puede así, sin merma del reconocimiento de la riqueza, la profusión y la complejidad de las disciplinas matemáticas actuales, hablar de una sola Matemática.

Matemática y realidad Por una parte se reconoce universalmente que la matemática es una ciencia *formal*, que trata *objetos abstractos* de un modo estrictamente *deductivo*. Como dijo Russell en un artículo de 1901, "la Matemática puede definirse como la disciplina en la que nunca sabemos de qué estamos hablando ni si lo que decimos es verdad"; lo que, salvando la ironía, viene a querer decir que en ella no se trata de *objetos reales* ni se puede decir que sea *realmente verdad* lo que se dice de ellos (aunque sean *verdaderos*, formalmente hablando, los teoremas, obtenidos a partir de los axiomas).

Por otra parte, la Matemática, a lo largo de la historia y, muy especialmente, a partir del nacimiento de la Física moderna con Galileo, se ha mostrado como un instrumento sumamente eficaz para describir el comportamiento de lo real y, sobre todo, para predecirlo y controlarlo.

Puede pensarse que esta aparentemente contradictoria situación es un caso particular de la más general concordancia entre la realidad y el pensamiento. Cabe, sin embargo, señalar la paradoja de que siendo la Matemática la más formal de las ciencias es, sin embargo, la que mejor da cuenta de la realidad. Múltiples explicaciones ha habido a tan apasionante cuestión. El pitagorismo y el platonismo han resuelto el tema de la forma más drástica: *la realidad es matemática*; "la esencia de las cosas es el número" pensaban los pitagóricos, o el propio "Dios geometriza", que decía Platón. Curiosamente tal posición está en los orígenes de la ciencia moderna, tanto o más que el empirismo que algunos piensan es su único fundamento; el propio Galileo opinaba que el "libro de la naturaleza" estaba escrito en caracteres matemáticos ("geométricos" diría él). Incluso hoy numerosos científicos, de forma más o menos explícita y consciente, se adhieren a tal postura. En el extremo opuesto, un formalista exagerado negaría de hecho el problema al considerar la Matemática como un lenguaje o marco sin significado y, por tanto, susceptible de ser dotado de cualquiera.

Posiciones intermedias se han dado también muchas, por ejemplo, empiristas y materialistas de distinto signo han sostenido que las ideas, matemáticas o no,

son fruto del examen empírico de lo real y, por tanto, *reflejan* o *representan* éste. Kant sostuvo la doctrina, calificada de *apriorismo trascendental*, consistente en considerar los juicios matemáticos como *synthetic a priori*, es decir, necesarios e independientes de la experiencia; lo que es posible, según él, porque la mente humana está dotada de modo innato para ello. Curiosamente, tal teoría, que en Kant era compatible con posiciones idealistas, sirve ahora de soporte a biólogos, psicólogos y etólogos de orientación materialista y evolucionista, para explicar que esa capacidad, *apriorística* en el individuo pero *a posteriori* en la especie, es fruto de la adaptación biológica de la misma a lo largo de su evolución.

Sean cuales fueren las explicaciones que la Biología, la Psicología y la Epistemología nos den, lo cierto es que la Matemática es un instrumento fundamental y eficazísimo para *modelizar* la realidad. Sola o a través de su aplicación en las ciencias positivas, proporciona al hombre una imagen de la Naturaleza que permite a éste su dominio. Aunque, naturalmente, el reconocimiento de la evidencia de tal afirmación no resuelve la gran incógnita de cómo se forman las ideas matemáticas y por qué resultan tan eficaces.

Una cuestión conexa con la de la validez de la Matemática para representar lo real es su relación con las otras ciencias, las de carácter positivo, y sus aplicaciones. En sus orígenes y durante milenios, la Matemática tuvo pocas y sencillas aplicaciones: a la Astronomía y a la medida del tiempo, a la navegación, a la medida de áreas y volúmenes, a la arquitectura, etc. A partir de Galileo, y sobre todo de Newton, la relación entre ciencias físicas y matemáticas se estrecha; el Cálculo, con sus ampliaciones —ecuaciones diferenciales e integrales, cálculo de variaciones, etc.— se convierte en un instrumento imprescindible para la Física. De hecho, las partes más teóricas de ésta, el estudio —mediante ecuaciones diferenciales en derivadas parciales— de las ondas, el potencial, etc. constituyen la llamada Física matemática que, a lo largo del siglo XIX, se constituye de hecho en una disciplina matemática. Igualmente, en otras ciencias naturales y en Ingeniería primero, en Economía después y recientemente, en Psicología, Sociología, Lingüística, Estrategia militar, Política, etc. las matemáticas tradicionales o modernas son un elemento fundamental. El Cálculo de probabilidades y la Estadística, la Programación matemática, la Teoría de juegos, la de la información, etc., junto a los métodos más tradicionales extraídos del Análisis clásico o los más modernos de la Teoría de conjuntos, la Lógica matemática o el Álgebra y la Topología proporcionan instrumentos de investigación en todas las ciencias y técnicas actuales. Los desarrollos del moderno Análisis numérico y la disponibilidad de ordenadores completan la panoplia que el matemático aplicado pone al servicio de todas las ramas del saber.

Realmente, cualquier disciplina que haya adquirido un cierto *status* científico y haya sobrepasado la fase puramente descriptiva tiene hoy un alto nivel de matematización, habiendo alcanzado incluso a una ciencia como la Geografía.

Normalmente, el tratamiento de un problema se realiza estableciendo un *modelo teórico* del mismo del que, en muchos casos, puede obtenerse un *modelo matemático*.

La cuestión de los fundamentos Toda ciencia tiene planteada una cuestión filosófica sobre su validez y fundamentos. Por regla general, tal cuestión depende tanto del objeto y método de la propia ciencia como de las posiciones filosóficas desde las que se la examina. Por ejemplo, desde una postura de realismo ingenuo la realidad existe tal cual la vemos y nuestro pensamiento es fiel *reflejo* de la misma. Por desgracia (o por suerte), muchos científicos *prácticos* adoptan, más o menos conscientemente, una posición parecida y se dedican al cultivo de su particular parcela del saber sin más problemas.

Abandonada una postura ingenua, se presentan en Matemática una serie de problemas de tipo filosófico: ¿qué estructura, significación y validez tienen las proposiciones de las teorías de la matemática pura?, ¿qué papel desempeñan las proposiciones de la matemática aplicada? (o en otros términos: ¿cómo es aplicable la Matemática?) y, en último pero principalísimo lugar, ¿qué significación y alcance tiene el concepto de *infinito*?

Platón, Aristóteles, Leibniz, Kant y otros muchos filósofos tuvieron su propia concepción de la Matemática (a veces adecuada al nivel matemático de su época, en otros casos no). Dichas concepciones han quedado obsoletas ante los problemas planteados por las Matemáticas de los últimos tiempos. Por el contrario, en nuestro tiempo las *filosofías matemáticas* más extendidas son el *logicismo*, el *intuicionismo* y el *formalismo*. Las mismas pretenden dar respuesta a las preguntas antes planteadas y, sobre todo, superar la crisis que las paradojas aparecidas en la teoría de conjuntos *ingenua* o *cantoriana* produjo en el edificio de toda la Matemática.

«Matemática pura es la clase de todas las proposiciones de la forma "*p* implica *q*", donde *p* y *q* son proposiciones que contienen una o más variables, las mismas en ambas proposiciones, y ni *p* ni *q* contienen constante alguna, excepto las constantes lógicas. Y las constantes lógicas son todas *nóciones* definibles en función de lo siguiente: Implicación, la relación de un término a una *clase* de la que es elemento, la *noción* de *tal que*, la *noción* de relación y otras *nóciones* tales que puedan hallarse involucradas en la *noción* general de proposiciones de la forma anterior. Además de ellas, la Matemática *usa* una *noción* que no forma parte de las proposiciones que considera, la de verdad.»

El anterior párrafo es el inicial de la obra de Russell *The principles of Mathe-*

matics, aparecida en 1903 y una de las exposiciones más lúcidas y nítidas del *logicismo*. En dicho libro su autor se proponía demostrar que la Matemática no era otra cosa que *Lógica*. Fue Frege el precursor de esta postura, cuya formulación canónica llegó con la obra de Whitehead y Russell: *Principia Mathematica* (1910-1913). En dicha obra sus autores establecieron una reducción de los conceptos matemáticos a conceptos lógicos y de los teoremas matemáticos a teoremas lógicos. Para el establecimiento del concepto de número natural utilizaron en esencia el método de Frege; es decir, la relación de equipotencia entre conjuntos. Para fundamentar la teoría de conjuntos redujeron ésta a conceptos lógicos en la idea de evitar las propias de la versión *cantoriana*.

Otra corriente filosófica es la *intuicionista*. Su fundador y máximo exponente es Brouwer; entre sus precursores —"preintuicionistas" los llama Brouwer— están matemáticos de la talla de Poincaré, Borel y Lebesgue, y entre los expositores más recientes hay que citar a Heyting, Kleene y Lorenzen.

Para estos autores la Matemática es independiente de la Lógica, que no es, según ellos, más que un instrumento de aquélla. La existencia de los entes matemáticos reside no en su carácter lógico, o en la "no contradicción" que dirán los formalistas, sino en la constructibilidad. Los entes matemáticos no tienen una existencia autónoma para los intuicionistas, fuera de ese acto de ser engendrados. Para ellos toda la Matemática descansa en la intuición primigenia de la división de la unidad y de la sucesión de los enteros.

Partiendo de los números enteros Brouwer construye el concepto de continuidad y ciertas partes básicas de la Teoría de conjuntos. Pero deja fuera algunas teorías del Análisis clásico y varios resultados de Cantor. De hecho, las consideraciones sobre constructibilidad le obligan a desechar el *infinito real* y a aceptar únicamente el *infinito potencial*. El principio del *tercio excluso* para los conjuntos infinitos es rechazado por las mismas razones, ya que, desde un punto de vista constructivista, en tal caso no puede decirse que la solución de un problema matemático tenga que ser *p* o *no-p* (sin cabida para una tercera opción) porque, por tratarse de un conjunto infinito, no hay posibilidad de verificación o de construcción. Algunos teoremas que la Matemática clásica demuestra utilizando el principio del *tertium non datur*, la intuicionista los prueba con recursos *sui generis*, a veces complicados; pero otros son rechazados, con grandes quejas de buena parte de los matemáticos más solventes (Hilbert, jefe de la escuela formalista, diría: "Nadie nos echará del paraíso que Cantor creó para nosotros").

Numerosos autores —*intuicionistas* o no—, como Kolmogorov, Glivenko, Gödel, Kleene, etc., han creado modelos para situar la Aritmética intuicionista en relación con la clásica. Sin embargo, los *intuicionistas* se niegan a verse encerrados dentro

de una construcción sistemática ya que, según ellos, la Matemática es un proceso en constante devenir porque el concepto básico de constructibilidad evoluciona simultáneamente con la propia Matemática.

Sin que, por supuesto, la *filosofía intuicionista* signifique la solución (caso de que exista) de la cuestión de los fundamentos de la Matemática, es necesario reconocer que sus consideraciones sobre el infinito y la constructibilidad han ejercido una gran influencia y han obligado a los miembros de las otras escuelas a aclarar sus posiciones.

Para Hilbert, el genial matemático al que tantas teorías se deben y creador del formalismo, la existencia matemática reside simplemente en la *no contradicción*.

Para aceptar las críticas intuicionistas sobre la constructibilidad y, a la vez, salvar la Matemática clásica (incluida la *transfinita cantoriana*), Hilbert concibió la idea de separar la Matemática de la *metamatemática* (o teoría de la demostración); en la primera cabrían los métodos de razonamiento habituales —incluido el principio del *tercio excluso*— mientras que en la segunda sólo podría recurrirse a métodos *finitistas*. Para Hilbert la cuestión de los fundamentos se resuelve confiando en la intuición básica de que la Matemática clásica es cierta.

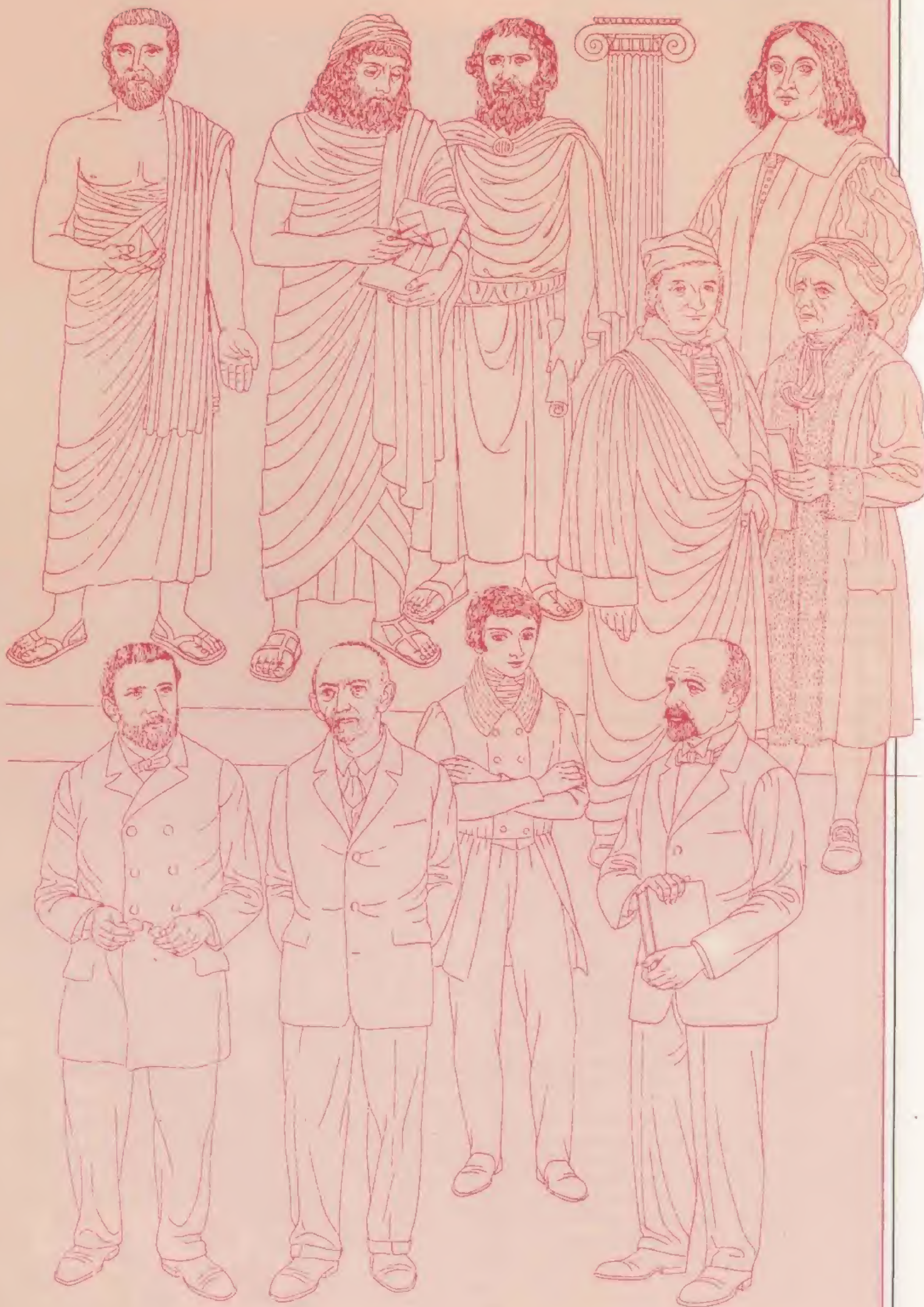
Para los *formalistas* extremos, la Matemática es un nuevo juego, que se juega con unos ciertos símbolos que cumplen determinadas propiedades (*axiomas*). Toda la validez radica en la *no contradicción* o *consistencia* de los *axiomas*. Pero Hilbert, padre del formalismo, parece no haber sido partidario de esta posición extrema y parece haber creído en una especie de *armonía preestablecida*, al modo de Leibniz, aunque pensara que a la hora de los razonamientos hubiera que estar a los métodos formalistas.

Desde el punto de vista formalista, todo sistema formalizado debe ser analizado, para estudiar su validez, por métodos *metamatemáticos* ajenos al propio sistema. Para ello deben utilizarse métodos simples, libres de cualquier sospecha de antinomias, paradojas y contradicciones, por lo tanto finitistas y constructivistas. En un *metalenguaje*, cuyos objetos sean los símbolos y teoremas del sistema, se probarán *metateoremas* que demuestren el cumplimiento de los requerimientos lógicos del sistema, es decir: *consistencia* y *completitud* (o lo que es lo mismo, que los *axiomas* no son contradictorios y que de ellos —siempre en número finito— puede deducirse todo el sistema).

Por desgracia para los formalistas (y por ventura para la Matemática), Gödel ha probado que el programa de esta escuela, en su versión extrema, es irrealizable.

Véase Álgebra; Algoritmo; Análisis matemático; Aritmética; Conjuntos, teoría de; Convergencia; Espacio matemático; Estructura matemática; Función matemática; Geometría; Infinito matemático; Investigación operativa; Lógica matemática; Método axiomático; Modelo matemático; Números; Probabilidad; Topología

En la historia de la matemática —como en las de las otras ciencias— puede sostenerse la teoría de una evolución lenta, continua y progresiva, según la cual el conocimiento se ha desarrollado de una forma acumulativa, o, por el contrario, mantener la posición de la existencia de grandes saltos, o «cambios de paradigma» revolucionarios, como dice Kuhn. Sea cual fuere la visión que se adopte, es cierto que en la historia de la matemática se han dado grandes innovaciones matemáticas que han hecho época. En la ilustración adjunta (reproducción de la que acompañaba, en el número de septiembre de 1958 del *Scientific American*, un artículo de Halmos sobre el tema de la innovación matemática) se representan algunos de los grandes innovadores. En la misma, de arriba a abajo y de izquierda a derecha, se ve a: Pitágoras (uno de los creadores de la matemática griega); Euclides (gran formulador del método axiomático y autor de los *Elementos*); Arquímedes (geómetra excelso, matemático aplicado y precursor del cálculo); Fermat (creador, con Descartes, de la Geometría analítica y, con Pascal, del Cálculo de probabilidades, aparte de genial cultivador de la Teoría de números); Gauss (extraordinario innovador en Geometría diferencial, Teoría de números, Física matemática, etc., y uno de los creadores de la geometría no-euclídea); Euler (el más prolífico de los matemáticos, inventor de la *exponencial* y el número *e*, etc.); Poincaré (uno de los padres de la Topología); Hilbert (auténtico fundador de la "matemática moderna"); Galois (muerto en plena juventud, tras crear el concepto de *grupo*); y Cantor (a quien se debe a la Teoría de conjuntos). Naturalmente faltan nombres imprescindibles: Al-Joarizmi, Fibonacci, Viète, Descartes, Newton, Leibniz, ...



Materia

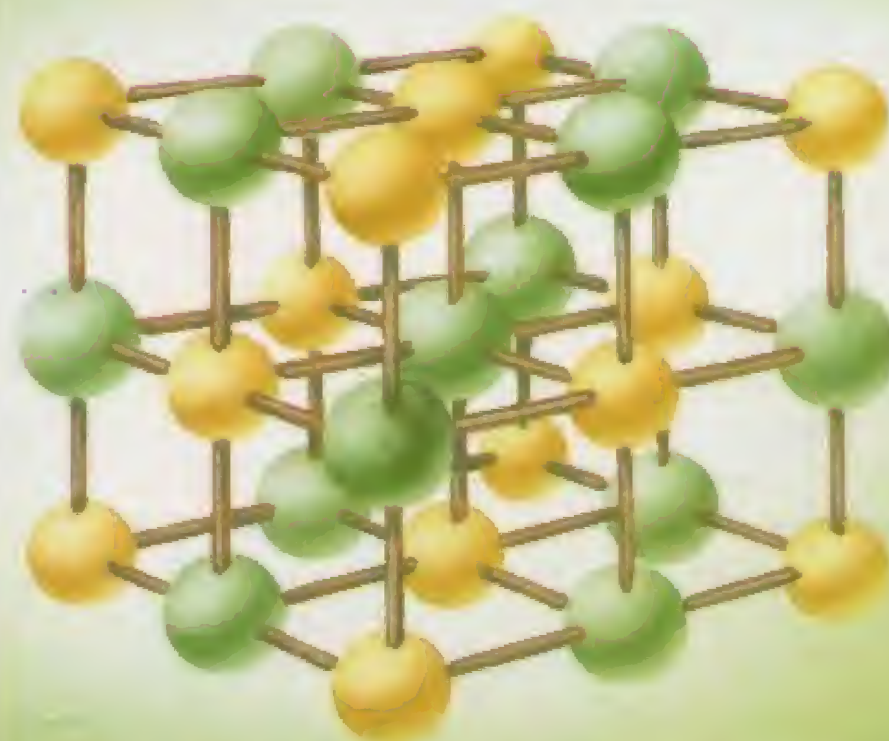
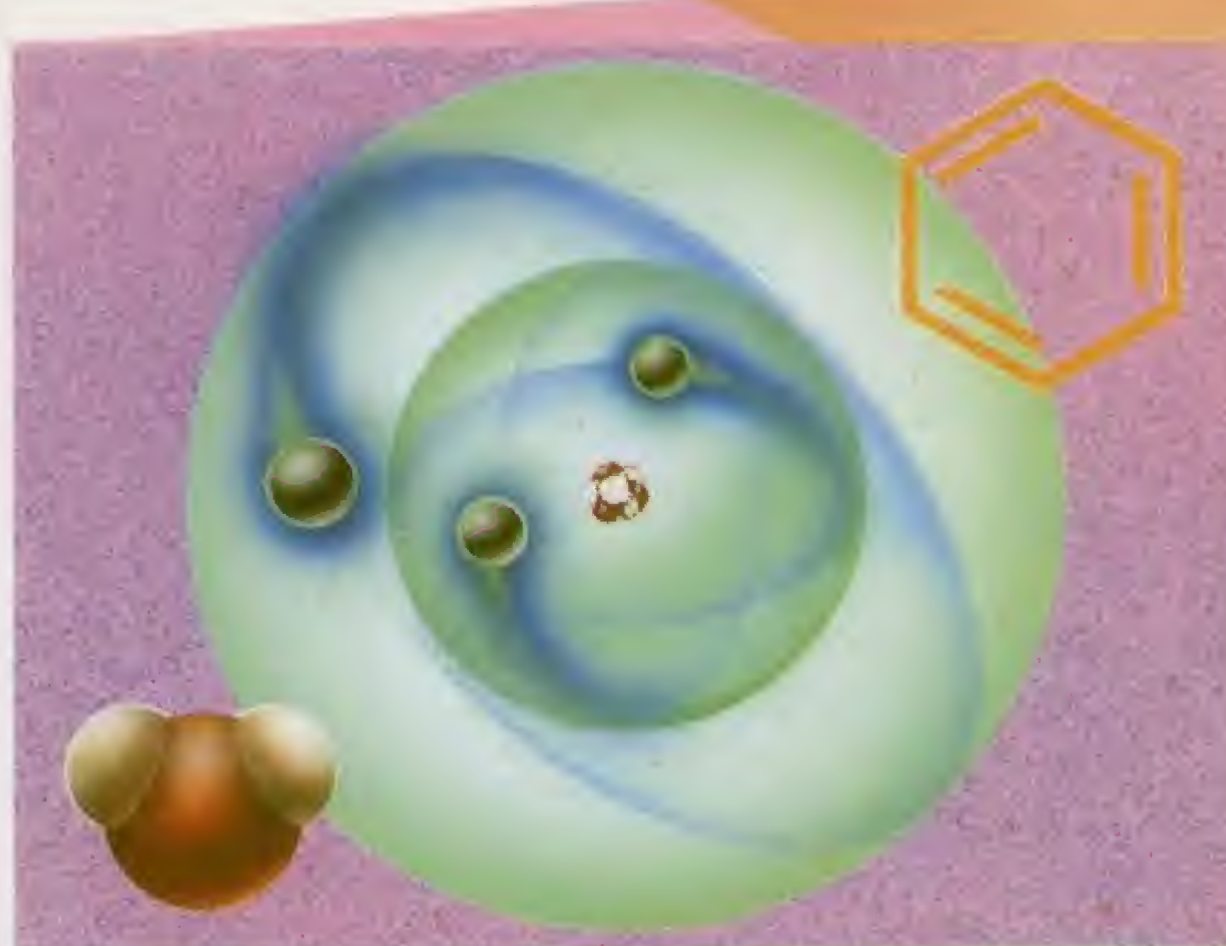
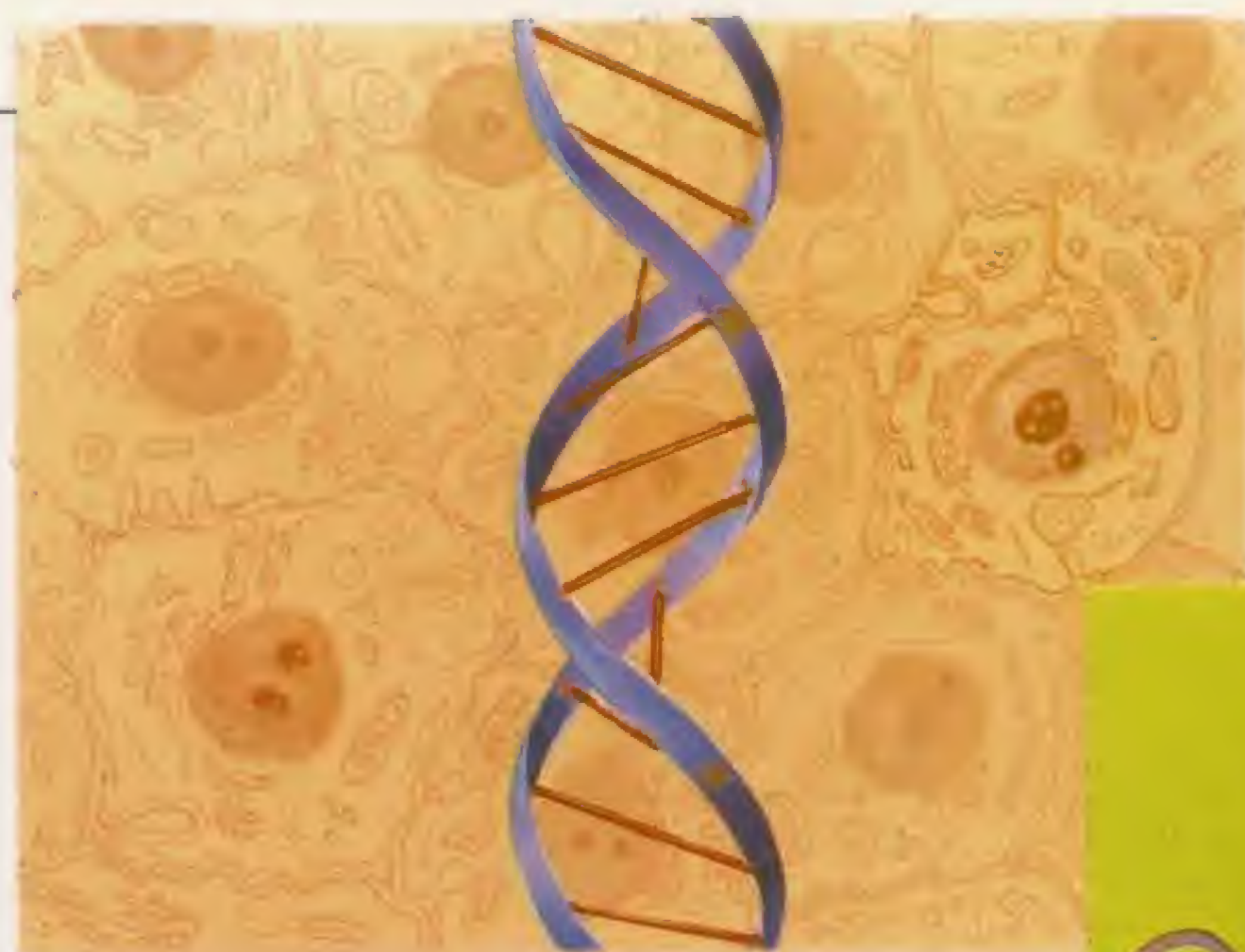
Ralph Waldo Emerson escribió: "Es tan pobre la Naturaleza, con toda su habilidad, que tiene que utilizar un solo elemento para toda la increíble variedad de criaturas del Universo. Aunque bajo distintas formas, en las estrellas, en la arena, en el fuego, en el agua, en los árboles y en el hombre, siempre se trata de la misma materia y sus propiedades resultan siempre iguales." Aquel "único elemento" es lo que nosotros llamamos *materia*. El término deriva del latín *materia* (de *mater*, "madre") e indica el elemento del que está constituida cualquier sustancia. La materia, por lo tanto, es el material de construcción de la Naturaleza. (La materia en sí misma no necesita ser producida, sino que es la base de todo lo que ha sido, es y será producido en el futuro.)

La naturaleza de la "materia" Aunque el concepto de *materia* (de sustancia simple, inmutable, que está en la base de una enorme variedad de formas y fenómenos naturales) parezca evidente a primera vista, esta impresión resulta engañosa. Pocos conceptos han sido objeto de tantas investigaciones y cambios revolucionarios como el de *materia*. Por ejemplo, casi todas las hipótesis que los científicos daban por ciertas hace sólo 200 años (como la de la completa separación entre materia y energía o la de la posibilidad de determinar con precisión la posición de una partícula de materia en el espacio) se consideran ahora erróneas.

Concepciones distintas de la materia han sido objeto de encendidas discusiones desde que los primeros filósofos y científicos griegos formularon varias teorías para explicar la naturaleza esencial de la materia. Empédocles, por ejemplo, planteó la hipótesis de que todas las sustancias que nos son familiares están constituidas por distintas combinaciones de cuatro elementos fundamentales: aire, fuego, tierra y agua.

Una de las cuestiones más debatidas radicaba en si es posible subdividir infinitamente una partícula de materia o si, por el contrario, ésta está constituida por ciertas unidades fundamentales e indivisibles llamadas *átomos*. (El término *átomo* en griego significa "indivisible"). El filósofo griego Anaxágoras sostenía la primera de estas tesis, mientras que Leucipo y Demócrito consideraban cierta la segunda. Desde entonces, filósofos y científicos han sostenido, alternativamente, una de estas dos tesis. El filósofo alemán Emmanuel Kant analizó profundamente este problema, llegando a la conclusión de que se podían demostrar ambas posiciones contradictorias, es decir, tanto que la materia fuese indefinidamente divisible como que el proceso de división tuviese necesariamente que ser finito. Kant atribuía esta antinomia o contradicción evidente a la incapacidad de la razón humana para resolver determinados problemas relacionados con el mundo microscópico o de lo infinitamente pequeño, incapacidad insuperable según él.

El gran cuadro esquemático de esta página ofrece una aproximación a los distintos tipos posibles de acercamiento al tema, bastante general, de la materia. Al problema de qué es la materia intenta dar respuesta la Física siguiendo dos caminos distintos. El primero se basa en la especulación teórica que intenta correlacionar los fenómenos para obtener un cuadro unitario. Este esfuerzo está representado en el cuadro de arriba, en el centro, donde se representan los dos máximos logros en este campo: la teoría einsteiniana de la relatividad y la teoría ondulatoria. El segundo camino es más experimental y trata de ámbitos muy diferentes. Por un lado, se intenta entrar en la estructura íntima de la



c^2



→ materia. Estos aspectos están sintetizados en los recuadros que ilustran, respectivamente, algunos ejemplos de estructuras fundamentales y una galaxia. El misterio de la materia viva es otro tema muy interesante; ha comenzado a revelarse recientemente con el descubrimiento del ADN, cuya doble hélice se representa arriba, a la izquierda. La materia nos interesa no sólo como objeto de estudio, sino como realidad que nos rodea, de la que debemos conocer las propiedades para poder utilizarla. En esta perspectiva se sitúa el examen de las clases de propiedades representadas en los dos recuadros inferiores. El de la izquierda muestra los tres estados de agregación bajo los que la materia se presenta normalmente: sólido, líquido y gaseoso. En el de abajo aparece una lista de las propiedades físicas macroscópicas más comunes.



→ materia: las moléculas, los átomos, hasta alcanzar la unidad básica, el *quark*. Por otro lado, se recurre al espacio, del que se esperan muchas respuestas sobre la génesis y el comportamiento de la →

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA

Mecánicas	densidad, dureza, ductilidad, maleabilidad, compresibilidad, fragilidad, deformabilidad, plasticidad, elasticidad, cohesión, viscosidad, tixotropia, tensión superficial, porosidad
Térmicas	calor específico, calor latente de fusión y de ebullición, capacidad calorífica, tensión de vapor, punto de fusión y de ebullición, conductividad térmica, dilatabilidad, volatilidad
Eléctricas	conductividad constante dieléctrica, polaridad, efecto termiónico, efecto termoeléctrico
Magnéticas	paramagnetismo, diamagnetismo, ferromagnetismo
Ópticas	transparencia, opacidad, índice de refracción, índice de absorción, luminiscencia, fosforescencia, fluorescencia, fotosensibilidad, color
Radiactividad	período de desintegración, constante de decaimiento de actividad



A principios del siglo XIX el químico inglés John Dalton volvió a tomar la concepción de Demócrito y Leucipo que afirmaba la naturaleza atómica de la materia, en la tentativa de explicar las reacciones químicas. Posteriormente, los científicos han descubierto que los átomos no son, en absoluto, indivisibles, estando compuestos por partículas subatómicas llamadas *partículas elementales*, cuyo comportamiento es totalmente distinto del de las cosas que normalmente percibimos. Las partículas, a su vez, pueden ser divididas. (Las teorías que explican el comportamiento de estas partículas elementales forman parte de la Mecánica cuántica).

Materia, moléculas y átomos Los átomos, aunque no sean las partículas elementales más pequeñas, son, sin embargo, los constituyentes fundamentales de la Naturaleza. No puede existir un trozo de hierro, carbón, uranio, etc., de dimensiones más pequeñas que las de un átomo de estos mismos materiales. Cada tipo fundamental de átomo y la materia constituida por átomos de un mismo tipo fundamental toman el nombre de *elemento*. En la Naturaleza existen 90 elementos y otros 16 han sido producidos artificialmente en el laboratorio.

Los átomos pueden reunirse entre sí para constituir las moléculas. Toda la materia que nos rodea está compuesta por moléculas. El agua, por ejemplo, está constituida por moléculas de un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Las moléculas más pequeñas contienen pocos átomos cada una, las más grandes, llamadas *polímeros* pueden contener cientos de miles de átomos. (Una molécula aislada es extremadamente pequeña; incluso el más pequeño granito de polvo visible por el ojo humano contiene muchos millones de moléculas). Existen, por ejemplo, más moléculas de agua en una cucharilla de la misma que cucharadas de agua en el océano Atlántico.

Los átomos y las moléculas de la materia están en continuo movimiento. En los sólidos, se mueven alrededor de una posición fija, como la punta de una caña que, movida por el viento, oscila alrededor de una determinada posición. En los sólidos, las posiciones medias de los átomos están distribuidas según esquemas regulares, y los materiales caracterizados por una distribución regular reciben el nombre de *cristales*. Casi todos los sólidos (incluso la arena, las rocas y las cadenas montañosas) tienen estructura cristalina. Mientras que algunos cristales —como los del diamante— tienen dimensiones tales como para ser visibles fácilmente, la mayor parte de los sólidos tiene una estructura cristalina extremadamente fraccionada e irregular, como la combinación de las piezas de un "puzzle". Los sólidos no cristalinos se llaman *amorfos*.

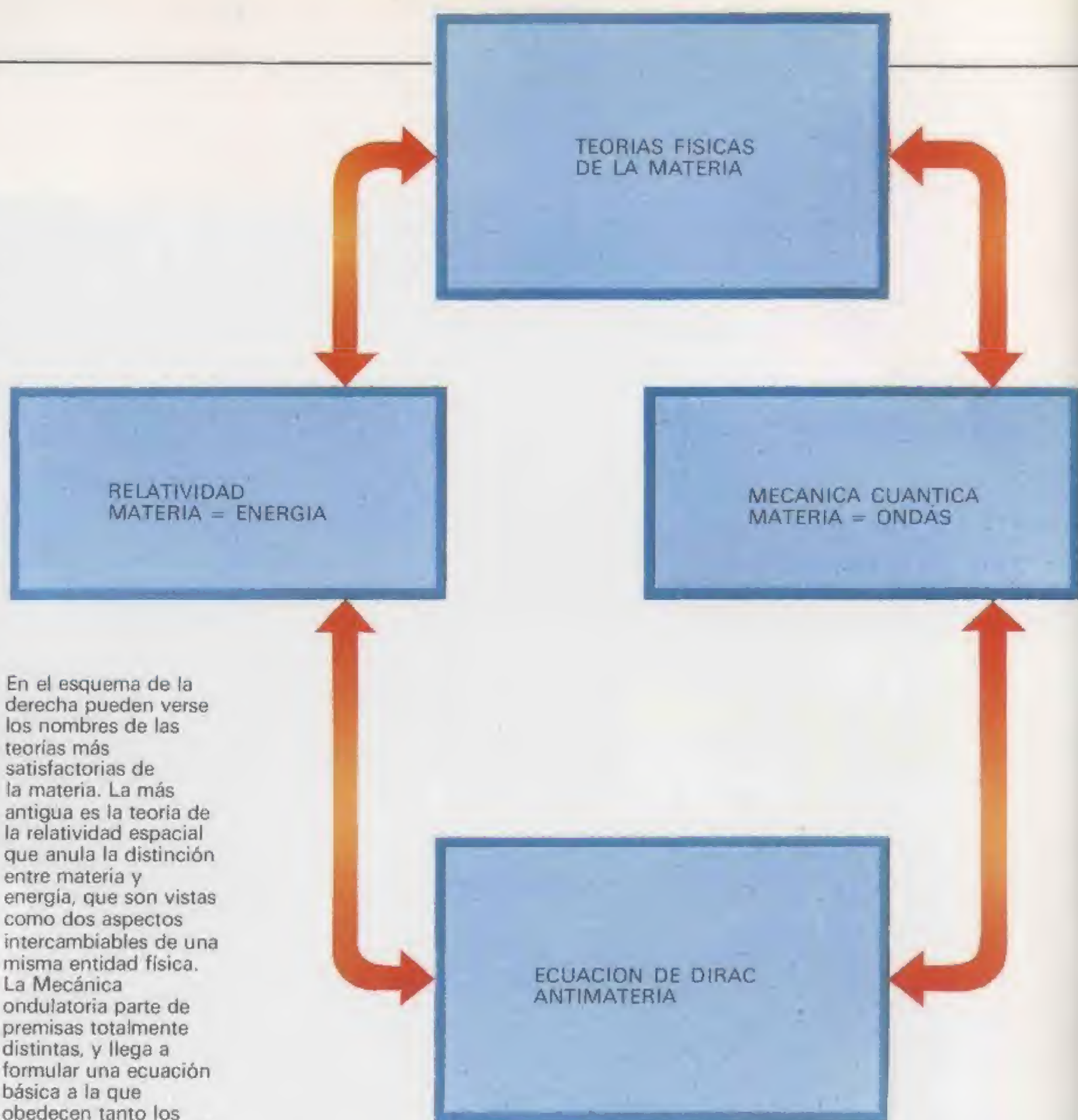
Las moléculas de un líquido o de un gas no tienen posiciones medias fijas y poseen libertad para moverse. En los líquidos, las moléculas ejercen fuerzas mutuas

de atracción que las mantienen unidas, unas a otras, en su movimiento. En los gases, estas fuerzas de cohesión son prácticamente inexistentes. El estudio del comportamiento de la materia en estado líquido y gaseoso toma el nombre de *Física de fluidos* (o *del estado fluido*). En su mayor parte, las sustancias pueden existir como sólidos, líquidos o gases. Estos distintos estados reciben el nombre de *fases* o *estados de la materia*. Muchas sustancias comunes llamadas *coloides* están constituidas por una combinación de distintas fases. Los soles, como las pinturas y el limo suspendido en el agua, son suspensiones de sólidos. Los soles sólidos, como las gemas coloreadas, son mezclas de sólidos. Las *espumas* son gases suspendidos en líquidos. Las *emulsiones*, como la leche, la mantequilla y la mahonesa, están constituidas por la suspensión de un líquido en otro. Los líquidos dispersos en los sólidos, como la gelatina, son emulsiones sólidas o *geles*. Los sólidos suspendidos en gases, como el humo, son llamados *aerosoles sólidos*; mientras los líquidos suspendidos en los gases, como las nubes y la niebla, son llamados *aerosoles líquidos*. La piedra pómez es un ejemplo de gas disperso en un sólido.

Las sustancias cuya composición es uniforme en toda su extensión reciben el nombre de *homogéneas*; mientras que los coloides y otras sustancias cuya composición no es uniforme reciben el nombre de sustancias *heterogéneas*.

La estructura de la materia viva es más compleja. La unidad fundamental es, en este caso, la célula, que puede ser considerada "el átomo de la Biología". Mientras que algunas formas de organismos vivos están constituidas por una sola célula, otras constan de muchas células agregadas en grandes grupos, como fibras y tejidos. Cada célula está formada por una membrana celular y por un fluido, situado en su interior, llamado *protoplasma*; cada una de ellas, a su vez, está compuesta por determinadas especies de moléculas.

La materia en el interior del átomo Cada átomo está constituido por tres tipos fundamentales de partículas. El núcleo, compuesto por partículas con carga positiva, llamadas *protones*, y por partículas sin carga, llamadas *neutrones*, está rodeado por pequeñas partículas con carga negativa, llamadas *electrones*, que orbitan a su alrededor. A pesar de que el núcleo tiene dimensiones muy pequeñas respecto a las del átomo, en él se encuentra concentrada la mayor parte de la masa del átomo. (Si se aumentase un átomo hasta las dimensiones de un auditorium, el núcleo sería representado por un granito de polvo situado en su centro). La mayor parte del átomo (y por lo tanto de la materia) está constituida por espacios vacíos.



fenómenos de la emisión luminosa como las partículas materiales. Los principios básicos de esta teoría son la cuantización de la energía y el principio de indeterminación, según el cual no es posible determinar simultáneamente con precisión infinita la velocidad y la posición de la partícula. Un intento de unificar las dos ideas es la teoría cuántica relativista de Dirac. Dicha propuesta no es del todo satisfactoria, pero ha conseguido notables éxitos interpretando complejos fenómenos físicos; el más importante es la predicción de la existencia de una forma de materia dotada de energía negativa: la antimateria. La historia de la investigación sobre la estructura interna de la materia

es un admirable ejemplo del proceso de perfeccionamiento del conocimiento. A partir de las geniales intuiciones de los químicos del siglo XIX, que han llevado al descubrimiento de las moléculas, se pasa a los trabajos de los físicos en los primeros años de este siglo, que han permitido el examen de los átomos aislados y de su estructura interna, compuesta por un núcleo alrededor del cual orbitan los electrones. El esfuerzo de investigación no se ha detenido en este punto sino que ha llegado a penetrar en la estructura del núcleo. El progreso de los estudios a nivel subnuclear ha dado lugar al descubrimiento de un gran número de partículas elementales. La tarea que actualmente ocupa a

Existen otros muchos tipos de partículas elementales, además del neutrón, el protón y el electrón, que son característicos de las emisiones radiactivas y de los procesos nucleares que se verifican en el interior del Sol. Las partículas pueden dividirse aproximadamente en dos grandes categorías: la de los *leptones* (partículas ligeras), que comprende los electrones, y la de los *adrones* (partículas pesadas), que incluye los protones y los neutrones. (Los fotones, las partículas elementales de luz, constituyen una clase aparte). Los adrones, a su vez, se componen de partículas llamadas *quarks*.

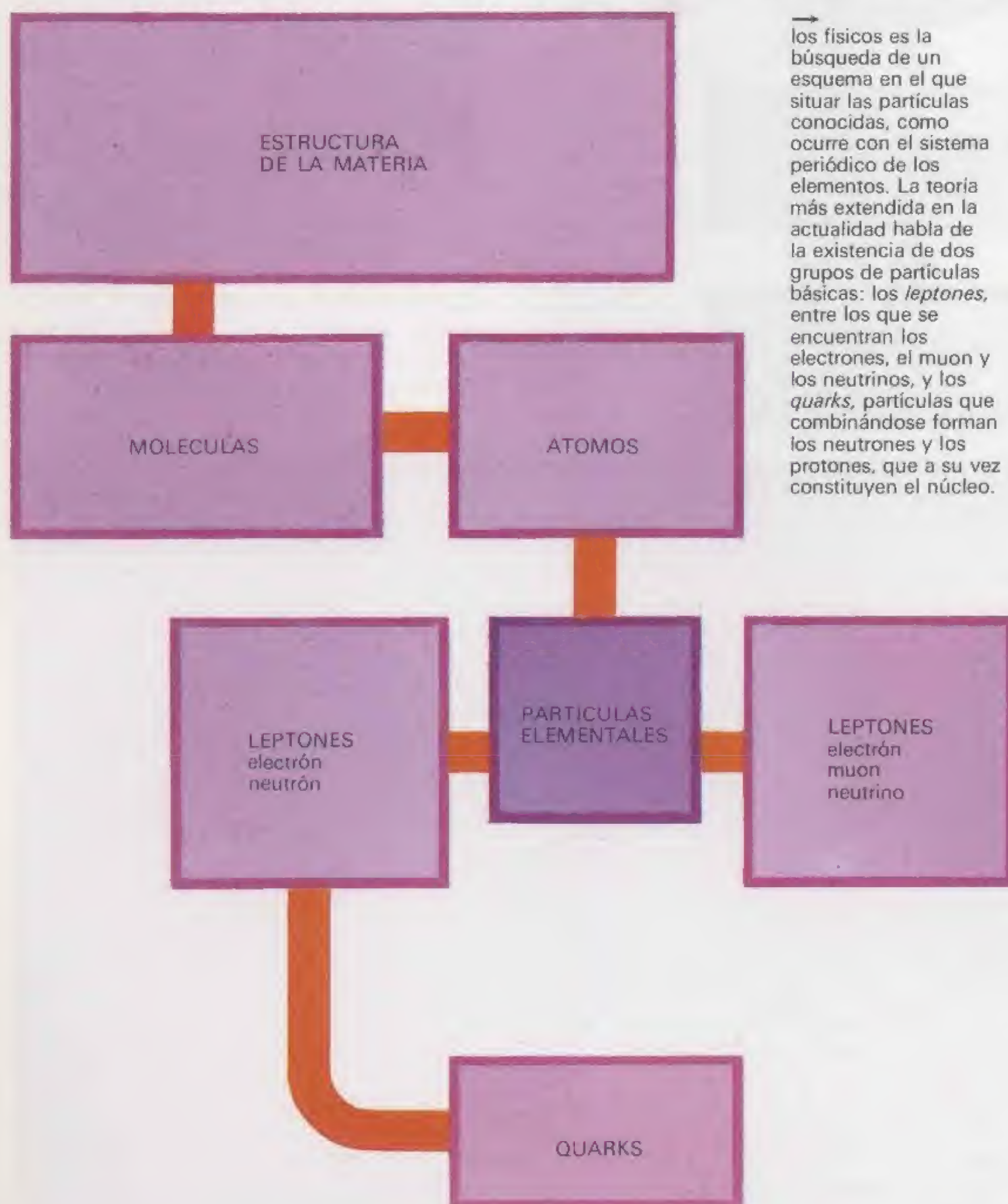
Propiedades de la materia Cada cuerpo material posee un cierto número de propiedades generales y específicas. La cantidad de espacio que ocupa se llama *volumen*. La cantidad de materia que lo compone (siempre la misma para un mismo cuerpo) determina su *masa*. La cantidad de masa por unidad de volumen recibe el nombre de *densidad* o *masa específica*. De la masa depende el peso del cuerpo, es decir, la fuerza de atracción que se ejerce recíprocamente entre el

cuerpo y la Tierra. Pero esta fuerza no es constante, ya que depende de la distancia entre los dos cuerpos; además, un mismo cuerpo tendrá pesos distintos en diversos planetas. Cada cuerpo, debido a su masa, ofrece cierta resistencia —llamada *inercia*— a la acción que se ejerza sobre él desde el exterior.

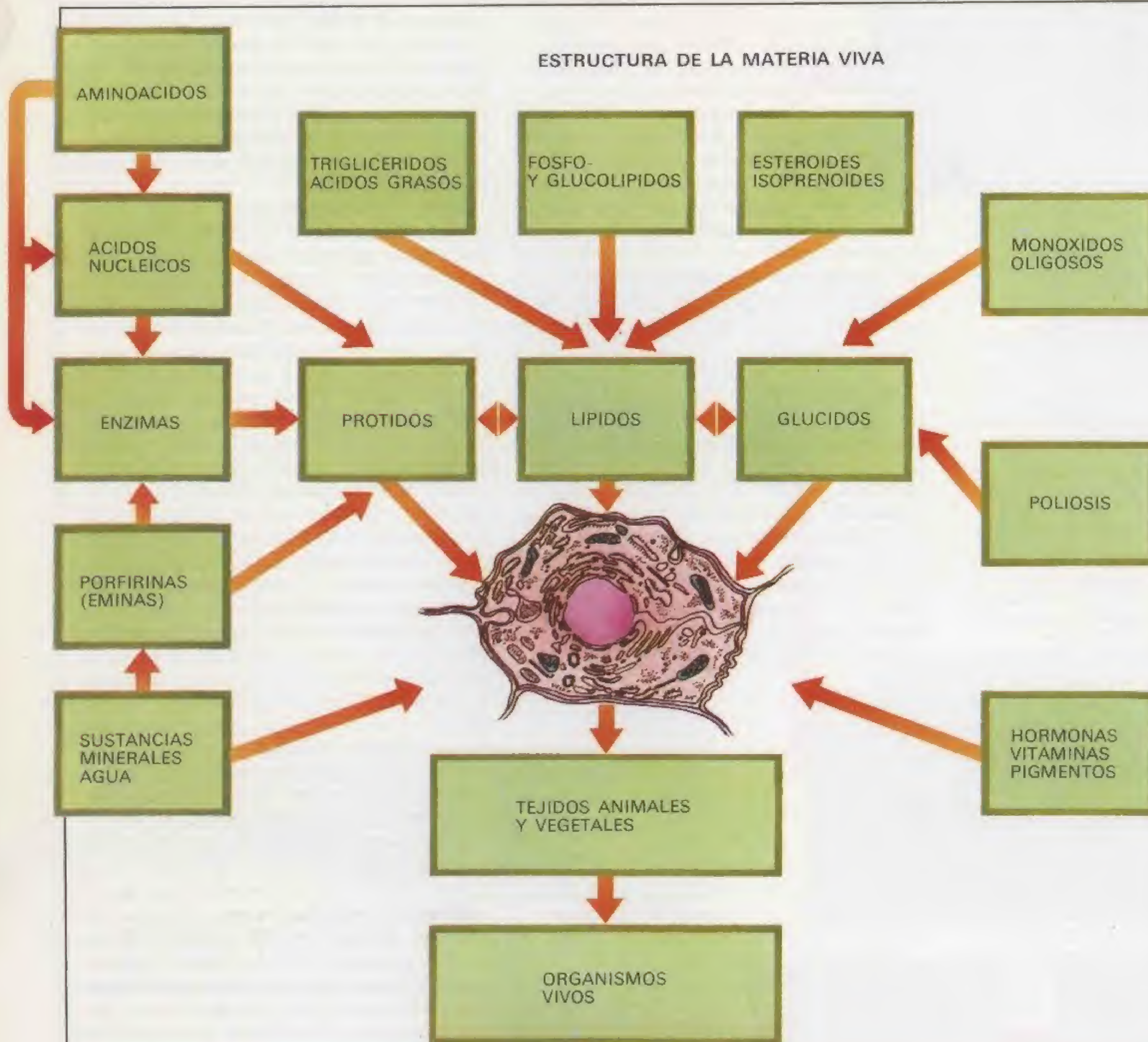
Las propiedades características de cada sustancia son el resultado de una determinada estructura interna. Estas comprenden, por ejemplo, la *dureza*: cuando una sustancia puede rayar a otra, se dice que tiene una dureza superior. El diamante es la sustancia más dura que se conoce, y puede rayar a cualquier otra. Los cuerpos *elásticos* están caracterizados por la propiedad de deformarse bajo la acción de una fuerza exterior, volviendo a tomar su forma inicial cuando la fuerza exterior cesa; el cable de acero y la goma son muy elásticos, mientras que la escayola no lo es en absoluto. La *resistencia* de un material a la rotura es la capacidad de resistir esfuerzos mecánicos: el acero tiene una elevada resistencia por unidad de superficie (o resistencia a la tracción), mientras que una barra de pan no tiene gran resistencia. Si un material puede ser laminado en hojas muy delgadas, como el oro o el aluminio, se dice que es *maleable*; si puede ser hilado, se llama *dúctil*. Otras propiedades de la materia comprenden la *porosidad* (la aptitud de un material para dejar pasar otra sustancia a través de sí mismo) y la capacidad de *conducir* el calor y la electricidad.

Materia, energía, ondas Hasta comienzos de este siglo se pensaba que la materia y la energía eran cosas completamente distintas. La materia se consideraba caracterizada por una masa y un volumen propios, mientras que la energía parecía ser algo capaz de modificar la materia. La materia estaba compuesta de partículas; la energía, de ondas, y cualquier sustancia no parecía poder ser a la vez ambas cosas. Piedras y árboles eran materia; la luz, el calor y el magnetismo eran energía. Cada una de las dos clases respondía a un principio de conservación propio: el de la masa, para la primera; el de la energía, para la segunda.

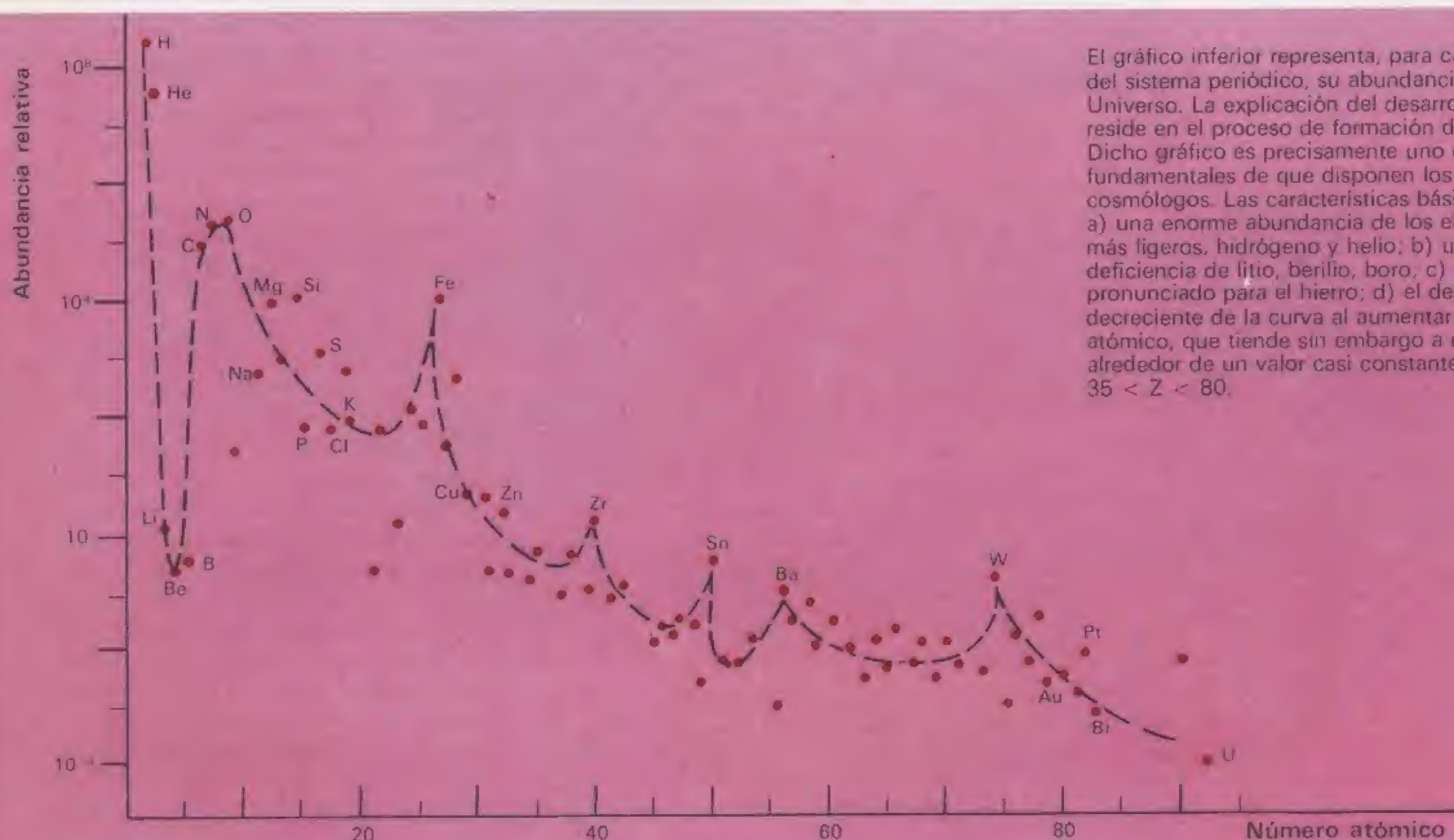
Los estudios de los físicos del siglo XX han demostrado que no existe en absoluto una distinción tan clara entre energía y materia. En 1905, Albert Einstein demostró que materia y energía pueden, en determinadas condiciones, transformarse una en la otra, según un factor de conservación expresado por la fórmula $E = mc^2$. Además, Einstein demostró que una determinada cantidad de energía posee cierta masa. En 1925, el físico francés Louis de Broglie profundizó en el trabajo de Einstein. Planteó la hipótesis de que cada cantidad elemental de materia en movimiento tiene una frecuencia ondulatoria propia, y en cuestión de dos años se demostró la existencia de esas ondas. Todo lo que existe en el Universo es, por lo tanto, materia y energía simultáneamente.



ESTRUCTURA DE LA MATERIA VIVA



La célula es el común denominador de la vida. Es el milagroso laboratorio en el que las moléculas de materia no viva, como el agua, las sales, los ácidos, los azúcares, etc., son elaboradas en compuestos muy complejos denominados *proteínas, hidratos de carbono, grasas, etc.*, que después son consumidos para obtener la energía adecuada para crear un ciclo de actividad química llamado *estado vivo*. Si analizamos el protoplasma celular de plantas y animales éste parece contener aproximadamente las mismas sustancias. Pero en realidad varía de un organismo a otro y dentro de un mismo organismo. Está sometido a continuos procesos de transformación química, con intercambios de energía que están en la base de la vida y que lo distinguen de la materia no viva. Dichos procesos, llamados *metabólicos*, son un complejo de reacciones químicas que se producen simultáneamente, sin interferir una con otra, gracias a la presencia de los enzimas, sustancias proteicas producidas por los mismos organismos, que permiten las reacciones e influyen en su velocidad sin transformarse en



El gráfico inferior representa, para cada elemento del sistema periódico, su abundancia relativa en el Universo. La explicación del desarrollo de la curva reside en el proceso de formación del Universo. Dicho gráfico es precisamente uno de los indicios fundamentales de que disponen los cosmólogos. Las características básicas son: a) una enorme abundancia de los elementos más ligeros, hidrógeno y helio; b) una marcada deficiencia de litio, berilio, boro; c) un pico muy pronunciado para el hierro; d) el desarrollo decreciente de la curva al aumentar el número atómico, que tiende sin embargo a estabilizarse alrededor de un valor casi constante para $35 < Z < 80$.



La antimateria Cada partícula subatómica posee una serie de propiedades, como la carga eléctrica, la masa y el movimiento de rotación alrededor de su eje (*spin*). A cada partícula de determinada masa y *spin* le corresponde otra con propiedades idénticas pero con carga eléctrica de signo opuesto. Esta partícula recibe el nombre de *antipartícula*. Cuando una partícula y su antipartícula colisionan, se aniquilan recíprocamente transformando sus respectivas masas en energía. (También algunas partículas eléctricamente neutras, como el neutrón, tienen sus propias antipartículas; para éstas la característica es una propiedad bastante compleja, conocida con el nombre de *número bariónico*).

Nuestro mundo está constituido por materia; si se producen antipartículas, como ocurre en ciertas reacciones nucleares, éstas interactúan rápidamente con sus partículas respectivas, disolviéndose en una llamarada de energía. Si se encuentran aisladas, las antipartículas son estables. Lo mismo que las partículas y los antielectrones (o positrones), los antiprotones y los antineutrones pueden unirse para formar antiátomos. Los antiátomos, a su vez, podrían reunirse para formar antimoléculas y hasta entidades mayores de antimateria (incluso también antimundos, opuestos a nuestro planeta). Qué cantidad de antimateria está presente en el Universo es por ahora un misterio.

Dónde se encuentra la materia y en qué cantidades La materia en el Universo está tanto en los cuerpos celestes (estrellas, planetas, cometas y meteoritos) como en la enrarecida materia dispersa en los espacios interestelares. La materia contenida en una estrella normal, como nuestro Sol, tiene una masa aproximadamente de 2×10^{30} kg. Nuestra galaxia contiene aproximadamente 100.000 millones de estrellas y, por lo tanto, encierra una

→ productos de las mismas. Los distintos procesos vitales de la Naturaleza, desde la fotosíntesis a la síntesis proteica, a los procesos respiratorios, etc., no son sino diferentes modalidades de estos intercambios de energía; pero desentrañar en todas ellas su complejidad constituye precisamente el apasionante argumento de la Bioquímica y de la Biología molecular.

El dibujo de arriba pretende sugerir gráficamente la idea de Dirac, de la existencia de la antimateria. Según dicha teoría, a cada partícula le corresponde su antipartícula, dotada de la misma masa pero con todos los números cuánticos (por ejemplo, la carga) de signo contrario. Desde 1933, el descubrimiento del positrón ha dado la confirmación experimental de esta teoría.



En la figura se representa una aniquilación electrón-positrón. Un electrón choca con su antipartícula, dando lugar, según las predicciones de la teoría de Dirac, a la producción de un fotón cuya energía es igual a la suma de las energías de las partículas incidentes. Dicho fotón de gran energía puede, en condiciones favorables, producir dos nuevas partículas.

masa del orden de 2×10^{41} kg. Se cree que existen 100.000 millones de galaxias en el Universo conocido, por lo tanto la cantidad de materia de todas sus estrellas es de unos 2×10^{52} kilogramos.

Las galaxias constituyen solamente el 0,1 por ciento del espacio del Universo. Entre ellas existe un polvo enrarecido, llamado *materia interestelar*, constituido por núcleos de hidrógeno y de helio, y raramente de elementos más pesados. Se estima que dicha materia interestelar tiene una masa total del orden de 56×10^{53} kilogramos, lo que significa que su masa es superior a la de todas las estrellas y galaxias del Universo.

Materia y "materia" Los instrumentos a disposición de los físicos de nuestro siglo son capaces de determinar que en el interior del mundo del átomo la materia puede transformarse en otras partículas. Estas últimas pueden incluso llegar a ser construidas a partir de la nada. En estas condiciones, preguntas como "¿De qué está hecha la materia?" o "¿Puede la materia ser subdividida indefinidamente?" pierden significado y dejan de ser preguntas a las cuales los experimentos pue-

dan dar una respuesta. Los físicos han descubierto la validez de la conclusión de Kant en relación con la incapacidad de la mente humana para comprender el mundo de lo infinitamente pequeño.

El estudio de la materia en todas sus formas recibe el nombre de *Física*. El estudio de los principios y de las teorías que rigen el conocimiento humano del mundo recibe el nombre de *Filosofía*. La Naturaleza de la materia resulta ser, lo mismo que ocurría en los tiempos de la antigua Grecia, más una cuestión filosófica que un problema científico, ya que para hablar de materia no basta con basarse en los conocimientos científicos adquiridos respecto a sus propiedades y comportamiento, sino que es necesario apoyarse también en hipótesis filosóficas sobre lo que debe y puede significar el origen y el fin de todas las cosas.

Véase Atomo; Célula; Física de partículas; Física de sólidos; Inercia; Mecánica cuántica; Relatividad, teoría general de la; Relatividad restringida ($E=mc^2$)

Materia, estados y cambios de estado

Cuando el hierro se oxida, la gasolina arde o el hidrógeno y el oxígeno se combinan para formar agua, tiene lugar un cambio sustancial de la materia original. Los materiales originales han desaparecido y han sido sustituidos por materiales nuevos con nuevas propiedades. Dicha transformación recibe el nombre de *transformación química*, y no es posible obtener la reacción inversa con medios simples, como por ejemplo cambiando la temperatura y la presión. En una transformación química los átomos de las sustancias originales se recombinan para formar nuevas sustancias.

Cuando el hielo se transforma en agua o el agua en vapor, tiene lugar un cambio de distinto tipo. La sustancia original sigue siendo la misma, y la transformación inversa puede ser obtenida simplemente alterando la temperatura o la presión; por ejemplo, refrigerando el agua. Este tipo de transformación recibe el nombre de *transformación física o cambio de estado*.

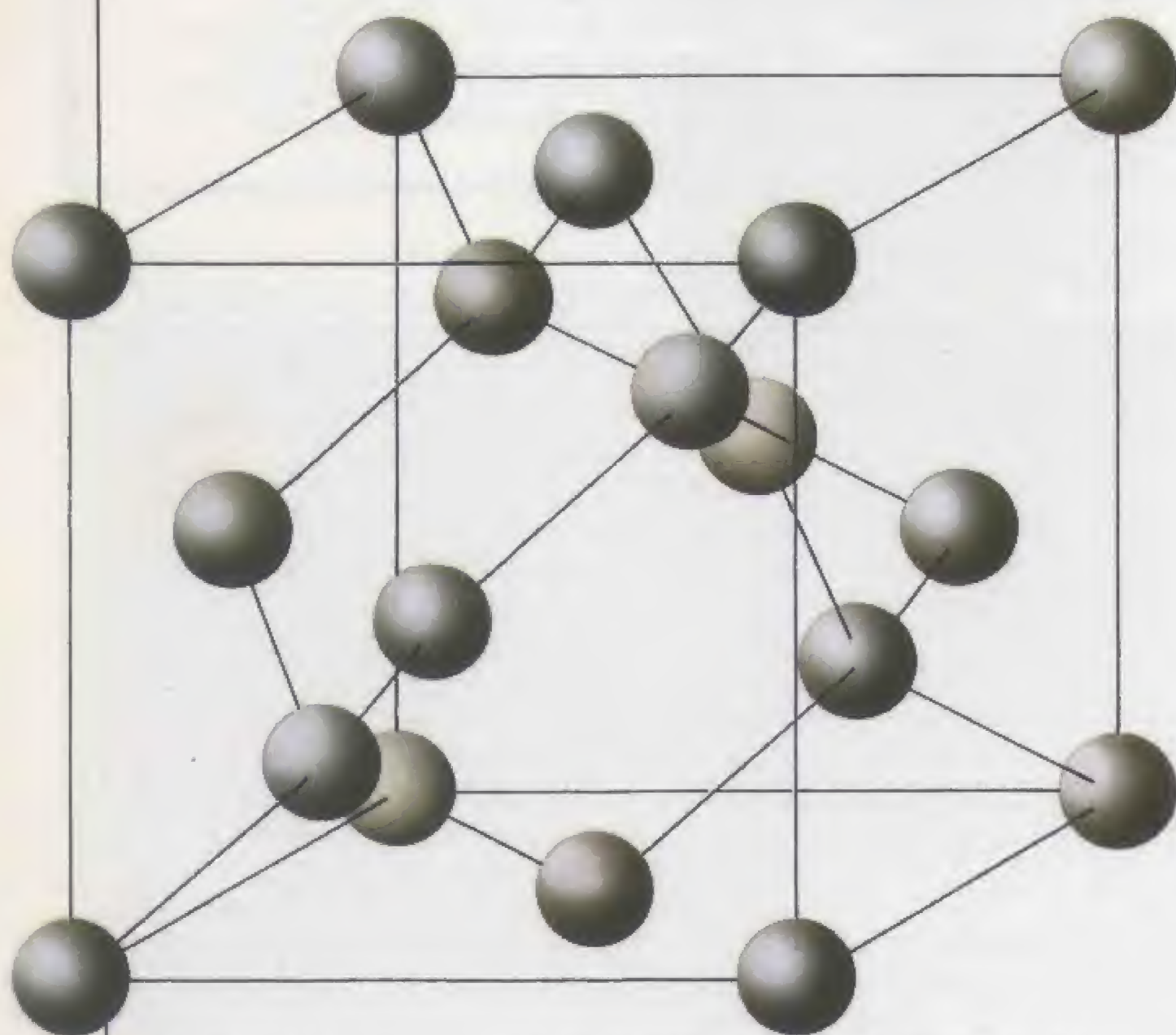
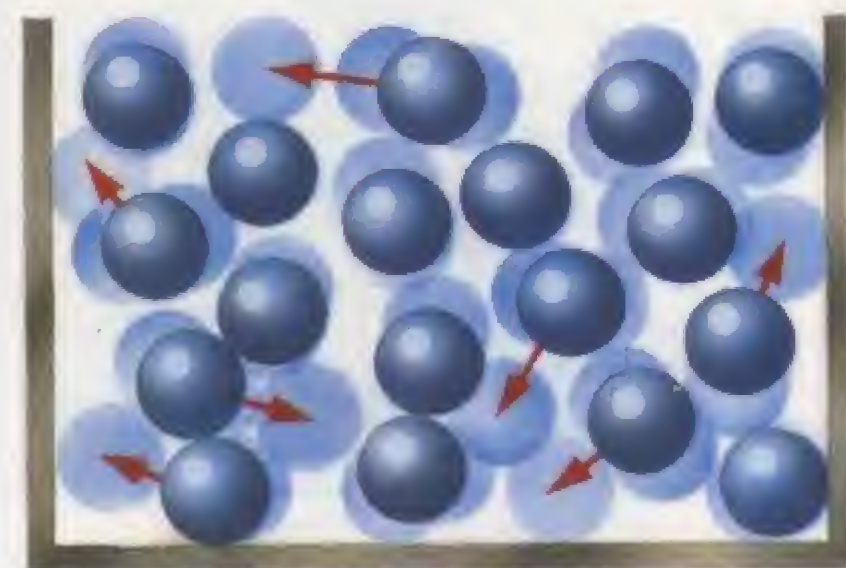
En un cambio de estado los átomos que componen la materia quedan ligados uno a otro manteniendo los mismos agrupamientos, que se denominan *moléculas*; lo que cambia es la intensidad de la fuerza que mantiene unidas sus moléculas. Hay tres estados fundamentales de la materia —*sólido, líquido y gaseoso*— y casi todas las sustancias, en condiciones apropiadas, pueden presentarse en cualquiera de esas formas.

Tan sólo recientemente ha sido posible conocer la naturaleza de los cambios de estado. En el siglo XIX se plantearon muchas teorías para explicar estos fenómenos. Según una de ellas, los líquidos y los gases estaban compuestos por distintos tipos de moléculas: los *liquidones* y los *gasones*. Sin embargo, en la actualidad sabemos que los mismos tipos de moléculas aparecen en los distintos estados de agregación. El hielo, el agua y el vapor, por ejemplo, están compuestos por moléculas de agua. La diferencia entre los distintos estados de agregación es debida a las diversas fuerzas de los enlaces entre moléculas.

Sólidos Un sólido es una sustancia rígida que tiene un volumen y una forma propios. Si se toma un objeto sólido de un contenedor y se coloca en otro de dimensiones mayores, su forma y su volumen permanecen inalterados. Podría parecer que los átomos de un sólido no se mueven y están ligados rigidamente uno al

Los tres dibujos a la derecha de estas líneas permiten, mediante un modelo mecánico, visualizar los movimientos de los átomos en los tres estados de agregación: en el estado sólido sólo pueden oscilar alrededor de la

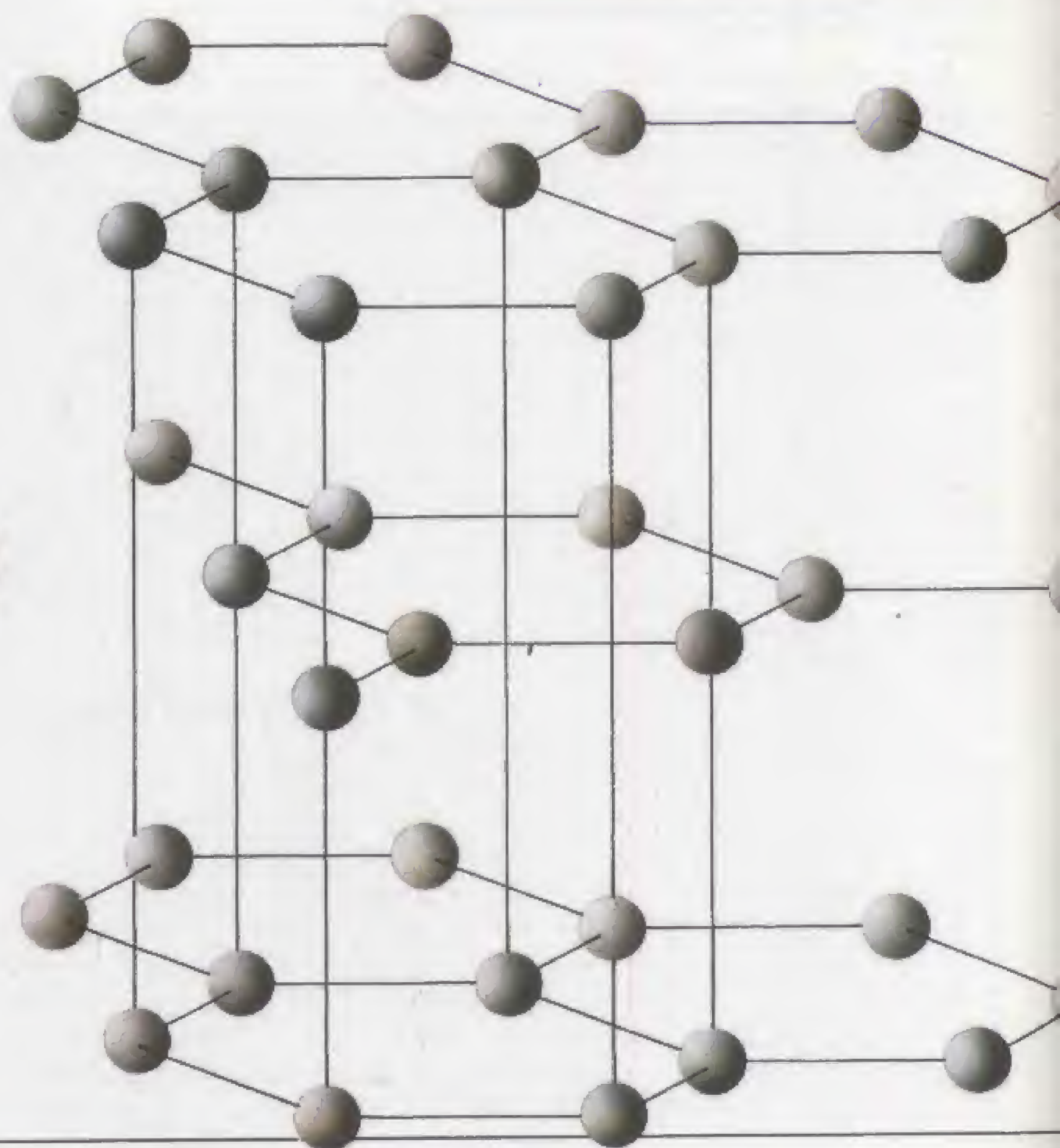
posición de equilibrio; en el estado líquido tienen una movilidad mayor, pero limitada por el hecho de que las fuerzas de interacción todavía son notables; en los gases las moléculas se encuentran totalmente desligadas.



En la figura se muestran las dos formas cristalinas en las que se presenta el carbono: la de la izquierda pertenece al diamante, y la de la derecha, al grafito. Este es un típico ejemplo del fenómeno llamado *alotropismo*, según el

cual los átomos de un elemento dado se enlazan entre sí formando dos o más estructuras cristalinas distintas. A esta diferenciación estructural corresponden también propiedades distintas. El diamante es

transparente y muy duro, mientras que el grafito es negro y untuoso, y tiende a deshojarse en planos correspondientes a los planos horizontales de la figura, debido a la debilidad de los enlaces químicos existentes entre ellos.

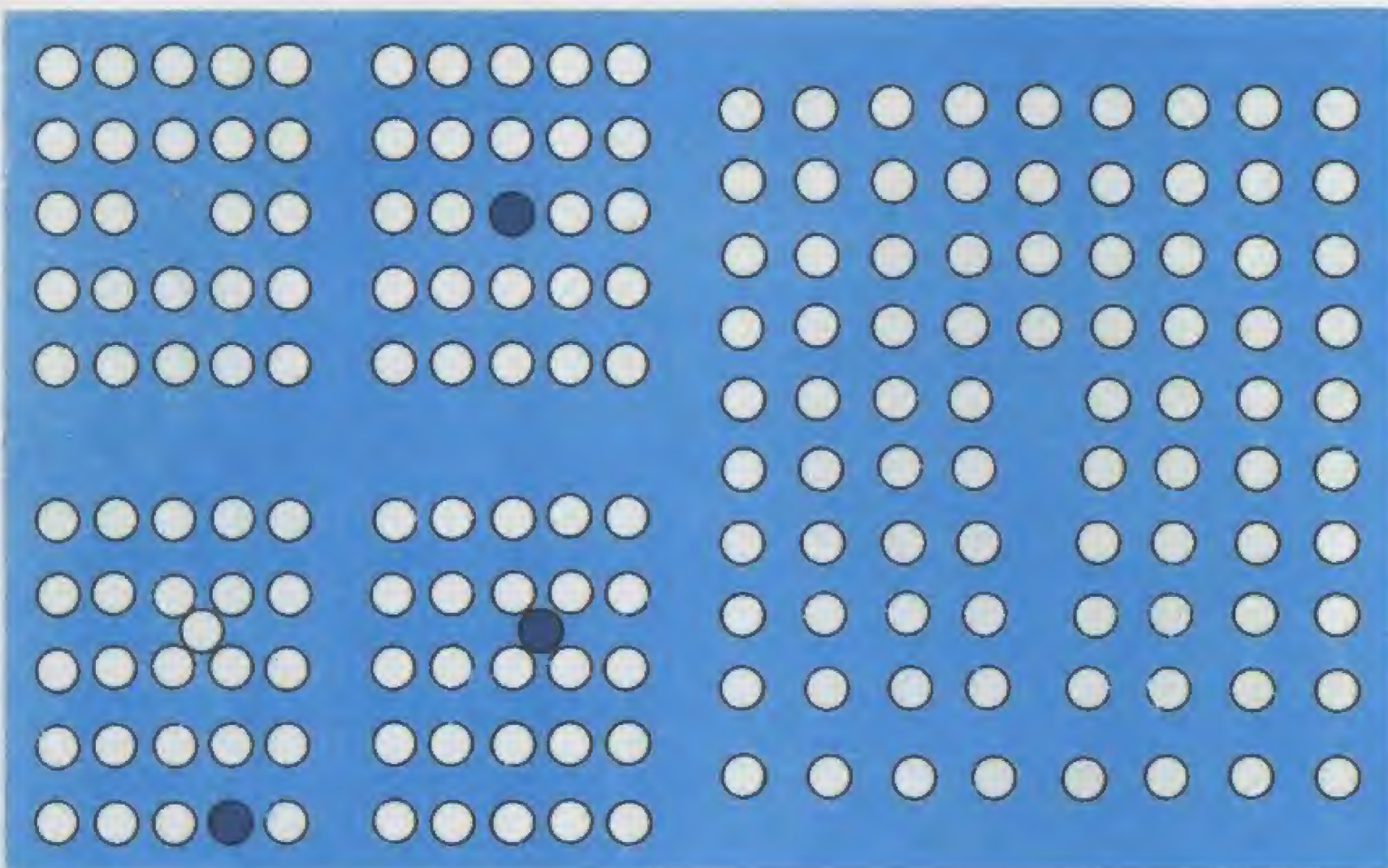


otro. Esto no es cierto. Todos los átomos están en continuo movimiento, tanto si forman parte de un sólido, de un líquido o de un gas. Mientras los átomos en un líquido o en un gas se mueven sin permanecer en la misma posición, los átomos de un sólido vibran en torno a una posición determinada, de forma que aunque pueden alejarse un poco de la misma, nunca pueden abandonar totalmente dicha posición.

Un átomo en un sólido se mueve como si estuviera rebotando sobre las paredes de una pequeña caja. Cuanto más alta es la temperatura, mayor tamaño presenta el sólido y mayor es también la fuerza con que el átomo rebota en la caja. Ahora bien, incluso en la temperatura más baja posible, el *cero absoluto* ($0\text{ K} = -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), los

átomos conservan cierta cantidad de energía cinética (energía de movimiento) y sus vibraciones no cesan totalmente. Sin embargo, el objeto constituido por estos átomos es rígido, no por el hecho de que sus átomos no se muevan, sino porque existen límites precisos para esas vibraciones atómicas.

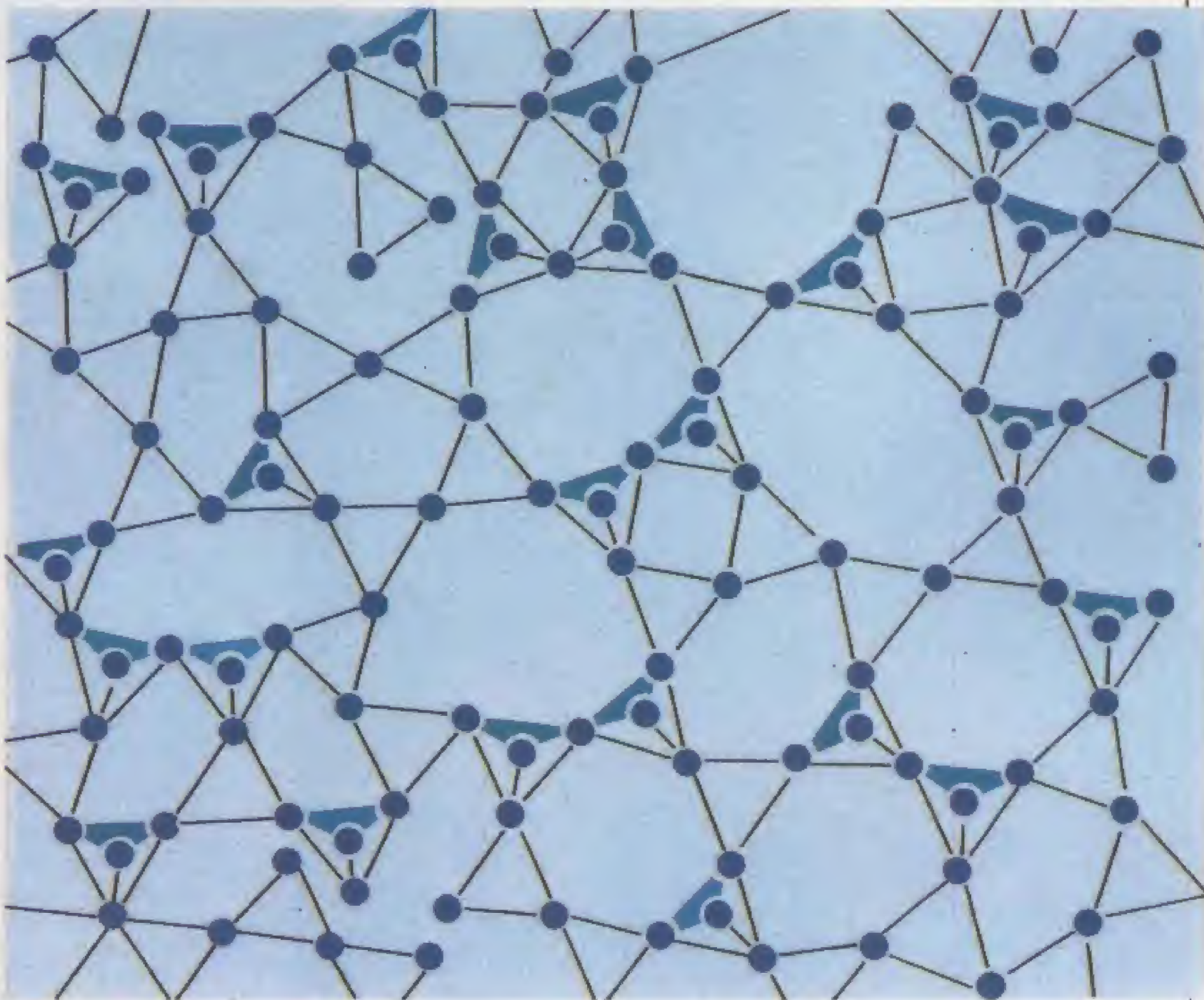
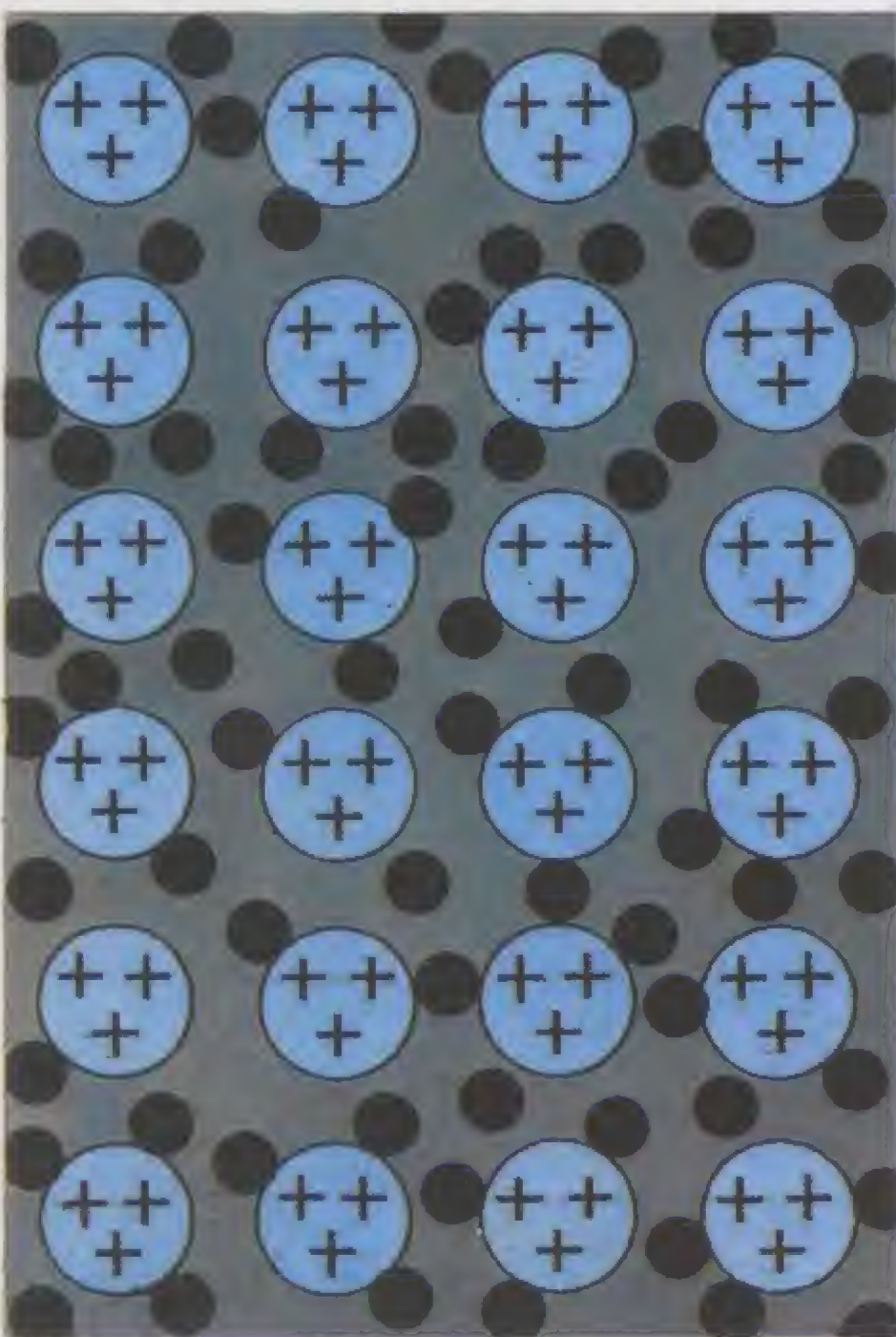
En un sólido, además, los átomos están dispuestos según esquemas precisos que se repiten indefinidamente. Un material constituido por configuraciones ordenadas de átomos que se repiten recibe el nombre de *cristal*, y el particular esquema de disposición de los puntos se denomina *retículo cristalino*. En el lenguaje común, suele considerarse cristales a los objetos raros y preciosos, como los diamantes.



Los retículos cristalinos no son perfectos. En las figuras junto a estas líneas se ilustran algunas imperfecciones típicas: un hueco, una impureza de sustitución, impurezas intersticiales y, más grande, una dislocación marginal. Para explicar la perfecta conductividad de los sólidos metálicos se recurre al modelo ilustrado abajo a la izquierda, para el

cual el retículo cristalino está constituido por iones positivos. Estos están sumergidos en un gas de electrones libres que los mantiene unidos y transporta las cargas eléctricas. La obsidiana es un ejemplo típico de un sólido amorfo. Dichos sólidos (figura de abajo, a la derecha) no tienen una estructura ordenada, sino que los grupos atómicos están distribuidos de un modo caótico.

● ELECTRON



tes, cuya estructura puede ser observada incluso a simple vista. La estructura cristalina de muchos otros sólidos sólo es perceptible al microscopio, ya que su modelo cristalino está disgregado como las piezas de un *puzzle*.

Hay ciertas sustancias rígidas no cristalinas, como por ejemplo el vidrio y algunos tipos de materiales plásticos, en las que los átomos están "encasillados" en ciertos espacios relativamente confinados como en los cristales, pero sin estructura reticular, es decir, sin esquemas de disposición de los átomos que se repitan. Estos tipos de materiales (particularmente en el caso del vidrio) suelen recibir el nombre de *líquidos superenfriados*.

El estudio del comportamiento y de las propiedades de las sustancias sólidas constituye una rama separada de la Física, llamada *Física del estado sólido* o *Física de sólidos*, así como también una rama distinta de la Química, llamada *Química del estado sólido*. Estas disciplinas estudian los modelos de los cristales, sus impurezas y la naturaleza de las fuerzas que ligan las moléculas y los átomos en las sustancias sólidas.

Líquidos Como el sólido, el líquido tiene un volumen propio: un litro de leche sigue siendo tal tanto si es vertida en un vaso como si lo es en una taza, pero su forma no es fija, de manera que adopta la del recipiente que la contiene. El líquido, en resumen, no tiene una estructura perma-

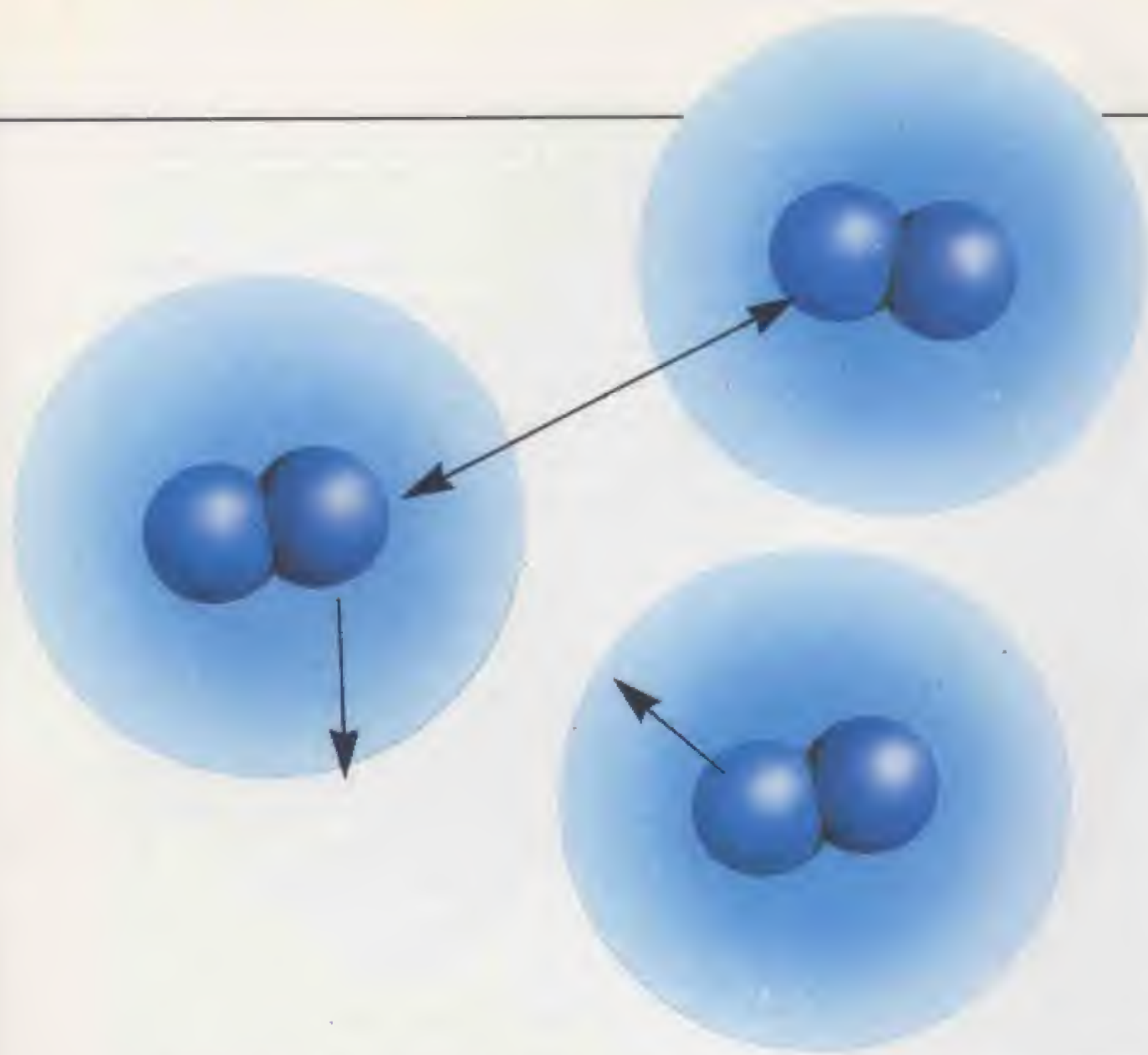
La primera figura junto a estas líneas es un viscosímetro, aparato que mide la viscosidad de los líquidos. Se mide el tiempo de paso del líquido a través de un tubo capilar de longitud prefijada, comparándolo con el del agua a la misma temperatura. El grado de viscosidad caracteriza a los

aceites lubricantes. En el embudo de la foto hay dos líquidos estratificados: en la zona de contacto la fuerza de cohesión entre las moléculas de los líquidos ejerce una presión, llamada *tensión interfacial*, que los mantiene separados. Es parecida a la tensión superficial de los ejemplos de abajo.



La tensión superficial tiende a reducir al mínimo la superficie libre presentada por un líquido. Un ejemplo es el agrupamiento de los líquidos en gotas. En el punto de contacto del líquido con el recipiente, éste se curva formando un menisco, que es cóncavo para los líquidos que mojan las paredes y convexo para los que no las mojan. A la derecha, método para evaluar la tensión superficial: un anillo suspendido de un dinamómetro se sumerge en un líquido; se mide la fuerza necesaria para alzarlo, una vez rompiendo la "membrana" y otra dejándola intacta: la diferencia da la medida.





Las moléculas de un cuerpo se mantienen unidas debido a fuerzas bastante débiles con un radio de acción muy corto. En un gas la distancia intermolecular es muy alta, y las moléculas se encuentran fuera de la esfera de influencia recíproca. Esta situación se representa en la figura junto a estas líneas, en la cual el halo alrededor de la molécula da una medida del radio de acción de las fuerzas entre las moléculas y es menor que su distancia. Abajo se representan algunas de las formas bajo las cuales encontramos los gases en la vida cotidiana: un globo, un globo aerostático y una bombona.

particular en el líquido; las moléculas pueden desplazarse y realizar largos recorridos dentro del líquido. Como no existe una estructura fija, en el líquido es más fácil producir deformaciones —mediante la aplicación de fuerzas exteriores— de lo que lo es en el sólido. Una de las fuerzas exteriores que puede actuar en los líquidos es la gravedad: el líquido se esparce rápidamente bajo la acción de la fuerza de la gravedad, tendiendo a formar una mancha cuyo espesor es el mínimo posible. Ciertos líquidos fluyen más lentamente que otros, y son definidos como más viscosos. La *viscosidad* se refiere a la resistencia del líquido al deslizamiento. El aceite lubricante desliza más lentamente que el agua, por lo tanto su viscosidad es mayor. En un líquido más viscoso, es más fuerte la atracción entre las moléculas y los desplazamientos de éstas son obstaculizados en mayor medida que en una sustancia menos viscosa.

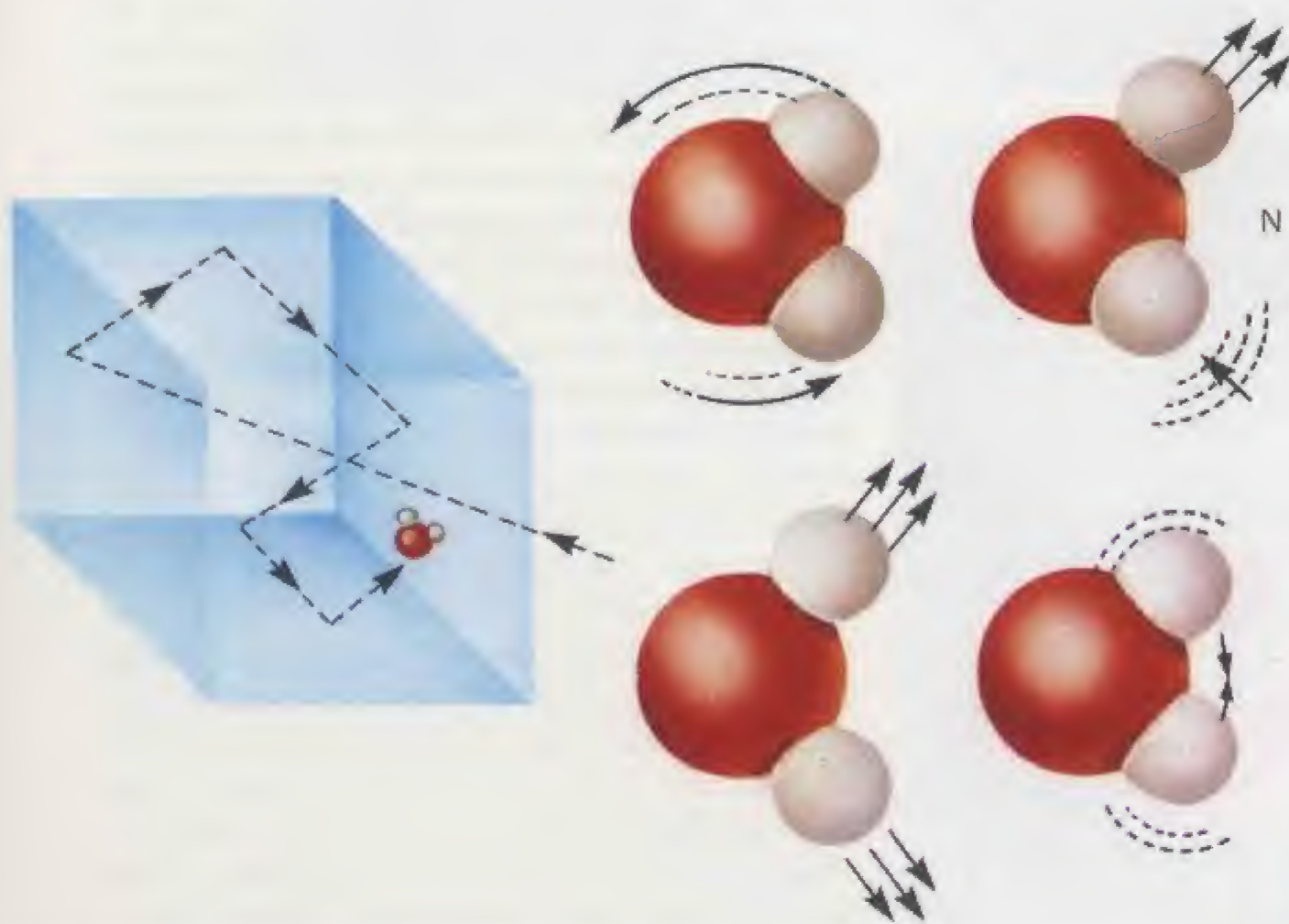
nente: eso es lo que caracteriza a un fluido (del latín *fluere* = "fluir").

Las moléculas en el estado líquido se atraen recíprocamente. Esta atracción las mantiene tan próximas que un líquido no puede ser fácilmente comprimido. Los líquidos son "pegadizos" —las moléculas tienden a reunirse en gotas o en agregaciones mayores donde ello es posible—. La superficie de los líquidos actúa como una piel delgada que los cubre: es el fenómeno conocido como *tensión superficial*.

Sin embargo, las moléculas en el estado líquido pueden moverse, lo que no es posible en el sólido. No hay estructura re-

La teoría cinética de los gases se ocupa del estudio microscópico de los sistemas gaseosos. Aplica las leyes de la Mecánica clásica a sistemas de millones de moléculas, atribuyendo a cada una un movimiento casual y estudiando el

conjunto con métodos estáticos; la figura bajo estas líneas muestra algunos movimientos característicos de una molécula de agua en estado gaseoso: traslación, rotación y diversos movimientos de vibración.



N = número de moléculas

Los resultados de la teoría cinética son leídos a nivel macroscópico mediante ecuaciones que ligan las variables mecánicas de las partículas; las magnitudes

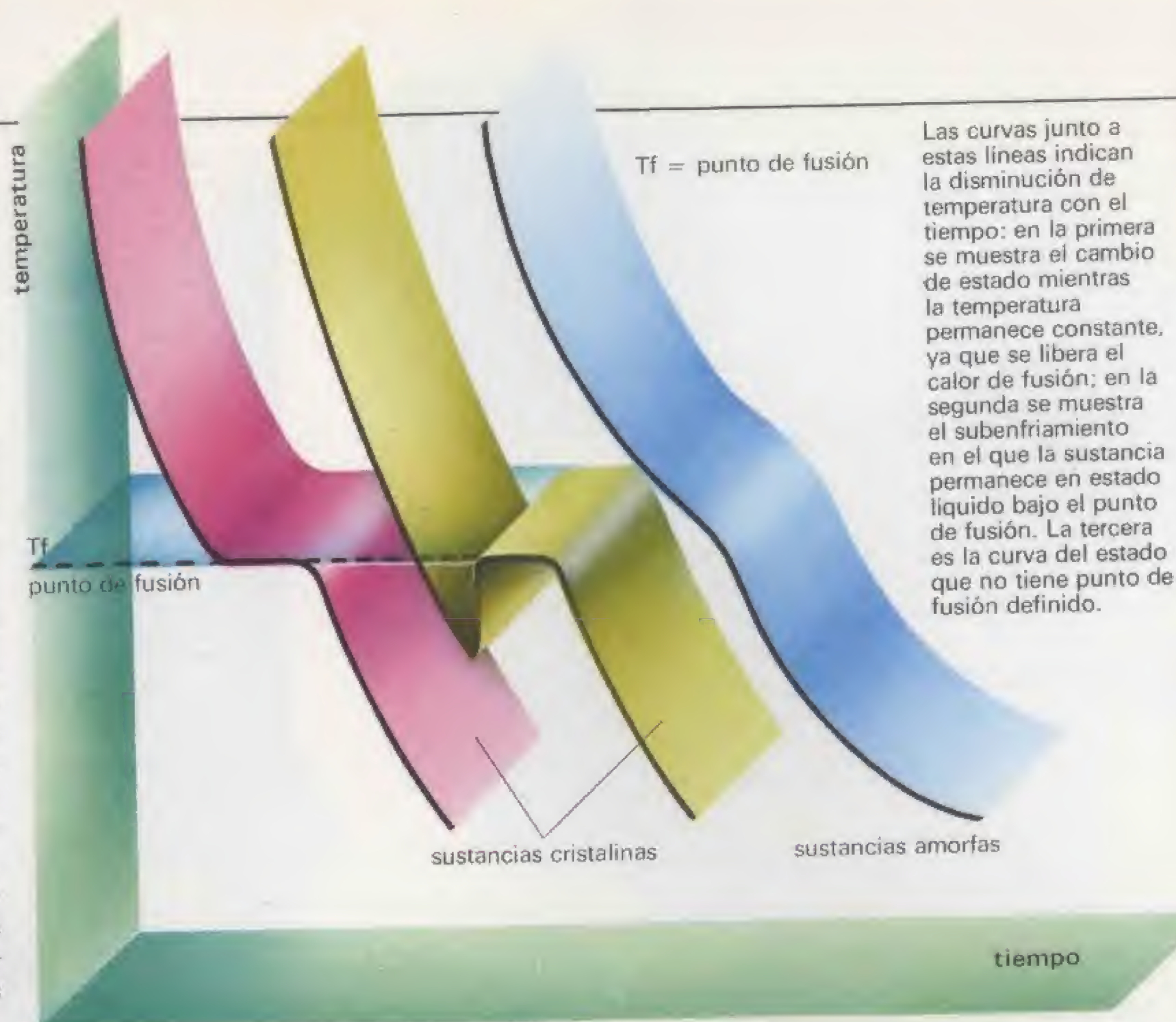
termodinámicas caracterizan el estado del sistema. En el gráfico inferior, para cada energía cinética hay asociado un número de partículas dotadas de esta energía en un sistema a una temperatura dada. El punteado da el valor medio de la energía, proporcional a la temperatura elegida.

E = energía

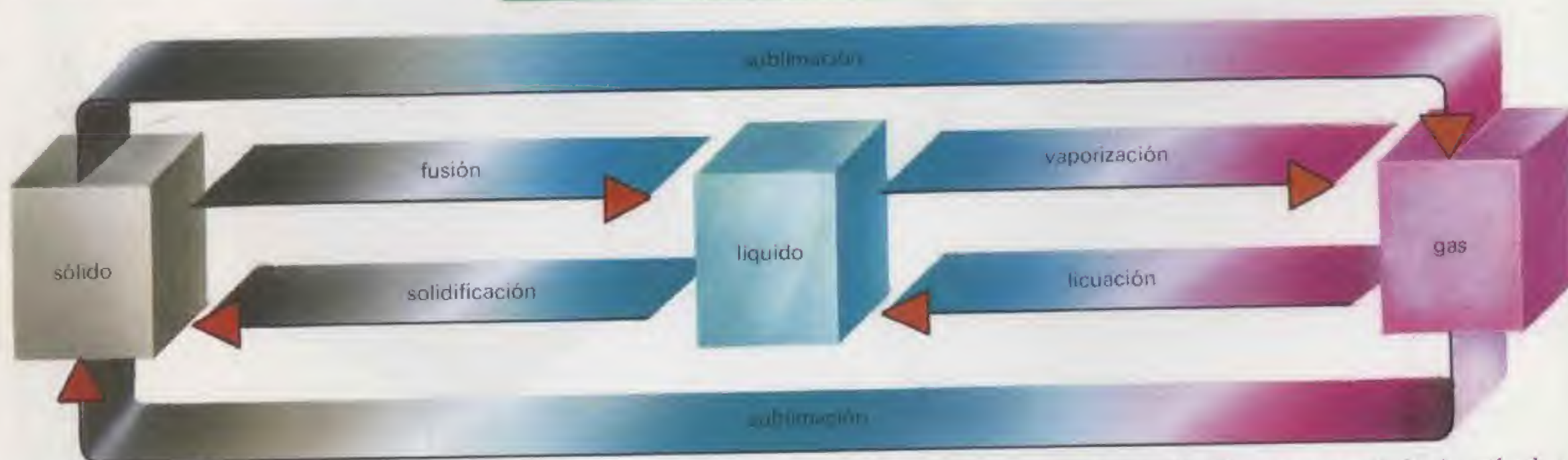
Puesto que el líquido tiene un volumen propio y no puede ser comprimido, puede ser utilizado para transmitir la presión (como ocurre, por ejemplo, en el circuito de frenado de un automóvil).

Gas El estado gaseoso es también fluido. El gas, como el líquido, toma la forma del recipiente que lo contiene. Contrariamente a lo que ocurre en los líquidos, el volumen del gas no es fijo. Los gases se expanden hasta llenar completamente el recipiente que los contiene o hasta que una fuerza externa a ellos detiene su expansión. La masa de aire que rodea la Tierra, por ejemplo, es mantenida alrededor del planeta por la fuerza de la gravedad; sin esta fuerza, la atmósfera se difundiría en el espacio hasta desaparecer. En contra de lo que ocurre en los líquidos, el gas no tiene superficie, ni "piel".

Este comportamiento se deriva del hecho de que casi no existen lazos de unión entre las moléculas de un gas, por lo que actúan independientemente una de la otra y son libres de vagar en el gas no comprimido. El estado gaseoso es el menos



Las curvas junto a estas líneas indican la disminución de temperatura con el tiempo: en la primera se muestra el cambio de estado mientras la temperatura permanece constante, ya que se libera el calor de fusión; en la segunda se muestra el subenfriamiento en el que la sustancia permanece en estado líquido bajo el punto de fusión. La tercera es la curva del estado que no tiene punto de fusión definido.



"estructurado" de los tres estados de agregación.

El vocablo gas fue utilizado por primera vez por el químico flamenco Van Helmont, en el año 1600. Parece ser que lo obtuvo de "chaos", el nombre que los griegos usaban para describir el estado primordial del Universo.

Puesto que las moléculas de los gases se mueven de manera casi casual, las propiedades de los distintos gases no están bien diferenciadas como lo están las de los líquidos más estructurados. En otras palabras, todos los gases se parecen entre sí más que los líquidos o sólidos entre ellos. Obedecen todos a las mismas leyes fundamentales, como la *ley de Boyle* (la presión ejercida por un gas es inversamente proporcional a su volumen) y la de *Charles* (el volumen es proporcional a la temperatura).

Mezclas de estados A menudo dos estados de la materia coexisten en la misma sustancia; así, una suspensión coloidal es una mezcla de minúsculos gránulos sólidos con un líquido.

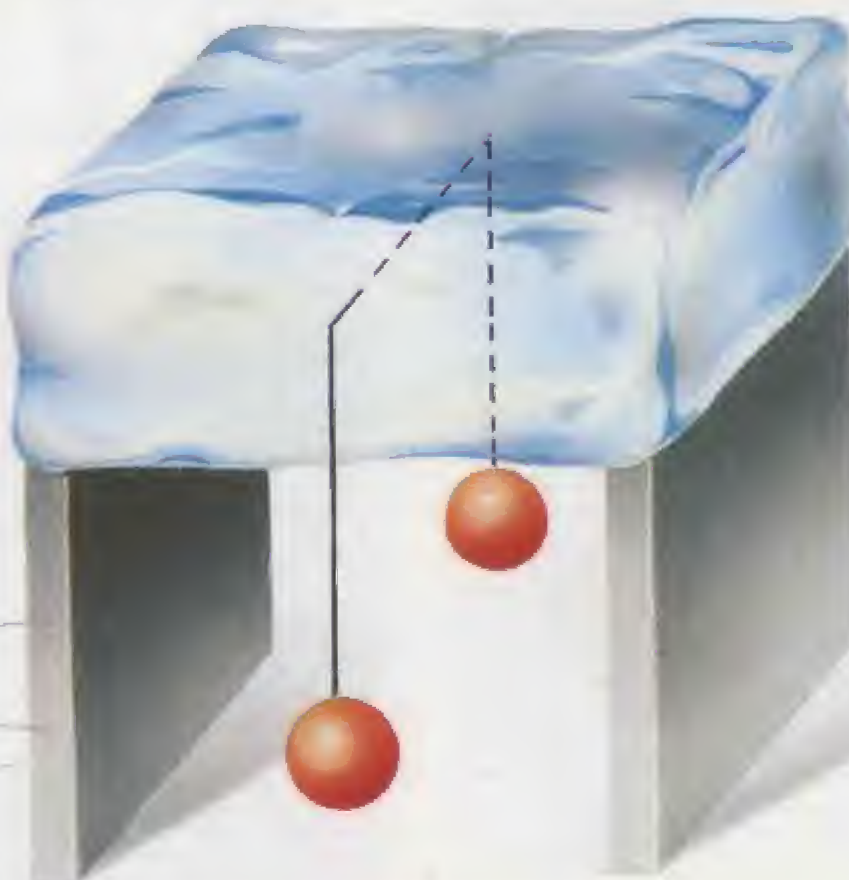
La arcilla suspendida en el agua es un ejemplo de suspensión coloidal. El humo

El bloque de hielo de la figura está sometido a la fuerte presión del hilo que sostiene las dos pesas: por lo tanto se funde y deja pasar el hilo. Cuando este hilo ha pasado, la presión cesa y el hielo experimenta un rehelo: el hilo pasa y el bloque permanece

intacto. El gráfico temperatura-presión, en la página siguiente, está dividido en tres zonas correspondientes a las tres fases de una sustancia. En el punto T, llamado *punto triple*, coexisten las tres; un sólido a presión menor que la de su punto T sublima si es calentado.

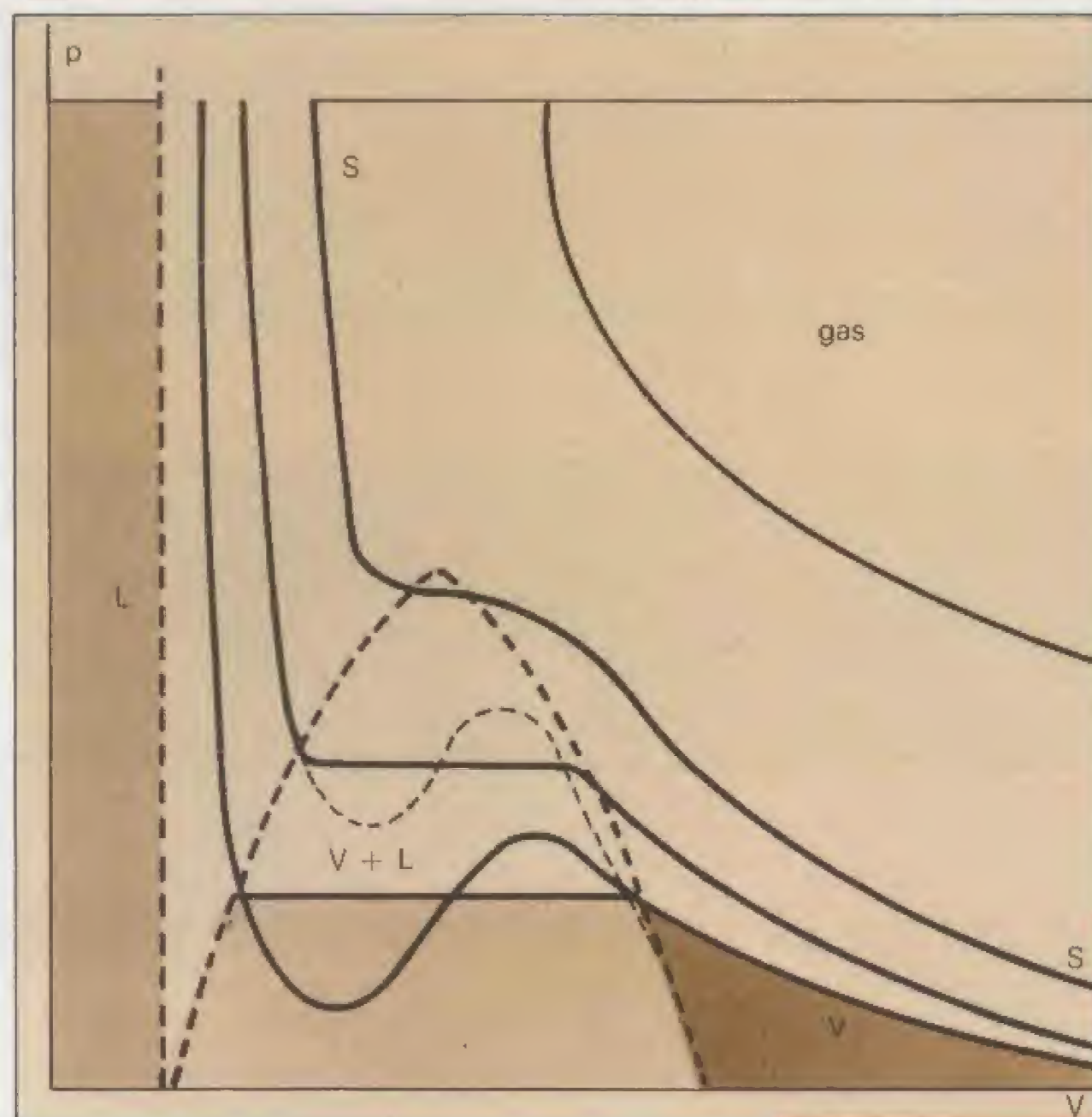
está constituido por un sólido (partículas de polvo) suspendido en un gas, mientras la espuma está formada por un gas suspendido en un líquido.

Cambios de estado El paso del estado sólido al estado líquido recibe el nombre de *fusión*; el del líquido al sólido se denomina *solidificación*, o congelación. Para las sustancias puramente cristalinas, la fusión y la solidificación se producen a la misma temperatura. El hielo, por ejemplo, funde a 0 °C, es decir, a la misma temperatura a la que se congela el agua. El solo aumento de la temperatura del hielo a este punto no es suficiente para fundirlo. Se requiere una cierta cantidad de energía térmica adicional para efectuar el cambio del estado sólido al líquido. Esa cantidad adicional de calor necesaria para realizar la transición, que es absorbida cuando el hielo se funde y es liberada cuando el agua se congela, recibe el nombre de *calor latente de fusión* o simplemente *calor de fusión*. Cada cambio de estado en el punto de fusión implica la cesión o adquisición de cierta cantidad de calor, y el valor de este calor latente es diferente para cada sustancia.

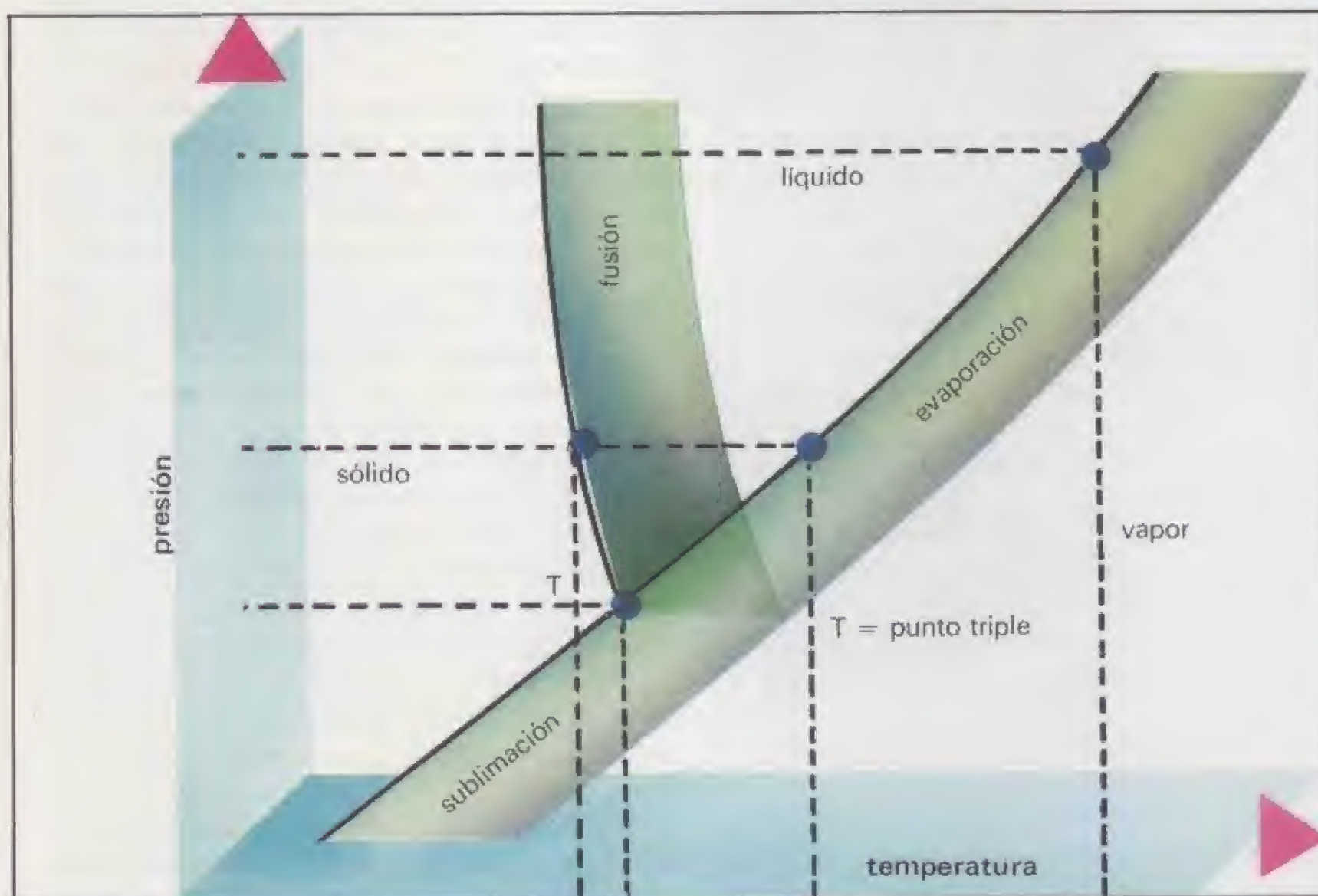


Las sustancias impuras y no cristalinas, sin embargo, no tienen puntos de fusión definidos. Tales sustancias, que incluyen el vidrio, el alquitrán, la mantequilla, etc., se ablandan y pasan al estado líquido en forma gradual. No todas las sustancias pueden pasar al estado líquido: muchas de ellas, como por ejemplo el azúcar, se descomponen por efecto del calor, es decir, experimentan una transformación química y no física.

Como regla general, el volumen de casi todas las sustancias se contrae durante la solidificación y se expande en la fusión. El agua, sin embargo, es una excepción. Se expande al congelarse (por lo que las tuberías, los recipientes y los motores revientan cuando contienen agua durante una noche en que la temperatura alcanza valores inferiores a 0 °C). El paso del estado líquido al gaseoso se llama *ebullición*, y el del gas al líquido, *condensación*. Al igual que no es suficiente llevar un sólido a su punto de fusión para fundirlo, no es suficiente llevar un líquido a su punto de ebullición para transformarlo en gas. Una cantidad adicional de energía calorí-



A la izquierda, líneas isotermas de Andrews: cada una representa la variación de la presión respecto al volumen, a temperatura constante. La isoterma S determina el límite de las temperaturas en que, dentro de la zona punteada, el comportamiento de las curvas es rectilíneo o irregular por la coexistencia del líquido y el vapor. En L, el volumen es constante para cualquier presión. En V, la hipérbola muestra la zona del vapor. Por encima de S se cumple la ley de Boyle. Abajo, sublimación del ácido benzoico.



fica —llamada *calor de vaporización*—, es necesaria para hacer pasar un líquido, como por ejemplo el agua a 100 °C, al estado de vapor a la misma temperatura.

La temperatura a la cual la sustancia hierve o funde depende de la presión a que dicha sustancia se encuentra sometida. A presiones inferiores a la atmosférica, por ejemplo, los puntos de fusión y de ebullición son generalmente más bajos. Así, en la cima del monte Cervino, situada a unos 4.478 m de altitud, la presión atmosférica es menor que al nivel del mar y el agua hierve a unos 85 °C. Un aumento de presión, por otro lado, hace generalmente aumentar las temperaturas de ebullición y de fusión (otra vez el agua constituye una excepción: su punto de fusión desciende al aumentar la presión).

Algunas sustancias, como el yodo y el dióxido de carbono, pueden pasar directamente del estado sólido al gaseoso a presión normal; este particular comportamiento se denomina *sublimación*. Cuando los líquidos se transforman en gas gradualmente a temperaturas inferiores al punto de ebullición —porque las moléculas se escapan de su superficie—, el cambio de estado es llamado *evaporación*. Cierta evaporación tiene lugar continuamente en la superficie de los líquidos, siempre en relación con la temperatura ambiente: este proceso ocurre también en la superficie de los sólidos, aunque en mucha menor medida.

Plasma En este siglo, se ha identificado un cuarto estado de la materia.



A temperaturas extremadamente altas, los átomos comienzan a separarse en los dos tipos de cargas eléctricas de que están compuestos (iones). Este estado se llama *plasma* y se encuentra raramente en la Tierra (los rayos son de plasma) porque faltan las condiciones extremas necesarias para su formación. En el Universo esas condiciones son normales y casi toda la materia se encuentra en estado de plasma; de manera que, en la inmensidad del Cosmos, nuestros estados sólido, líquido o gaseoso son formas muy poco comunes de la materia.

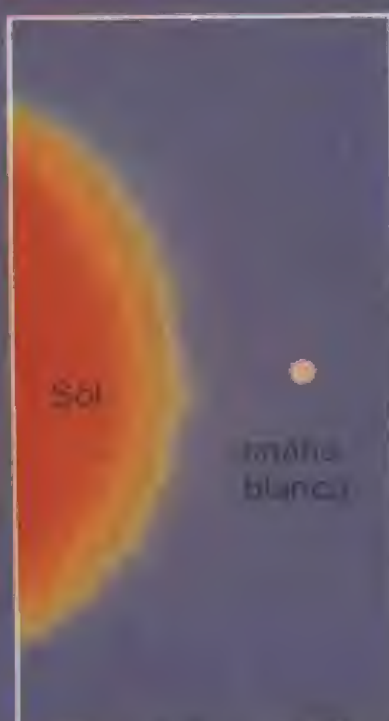
Véase **Cristales y Cristalografía; Física de fluidos; Física de sólidos; Gas; Hidráulica**

Materia hiperdensa

Teóricamente es posible plantear la existencia de una cantidad tal de materia que ocupe el volumen de la punta de un alfiler y cuyo peso sea tan grande que no pueda ser sostenida por un hombre. Por su parte, los astrónomos consideran que nuestra galaxia está poblada por objetos con una densidad tan grande que sus masas no pueden ser comparadas con ningún objeto terrestre.



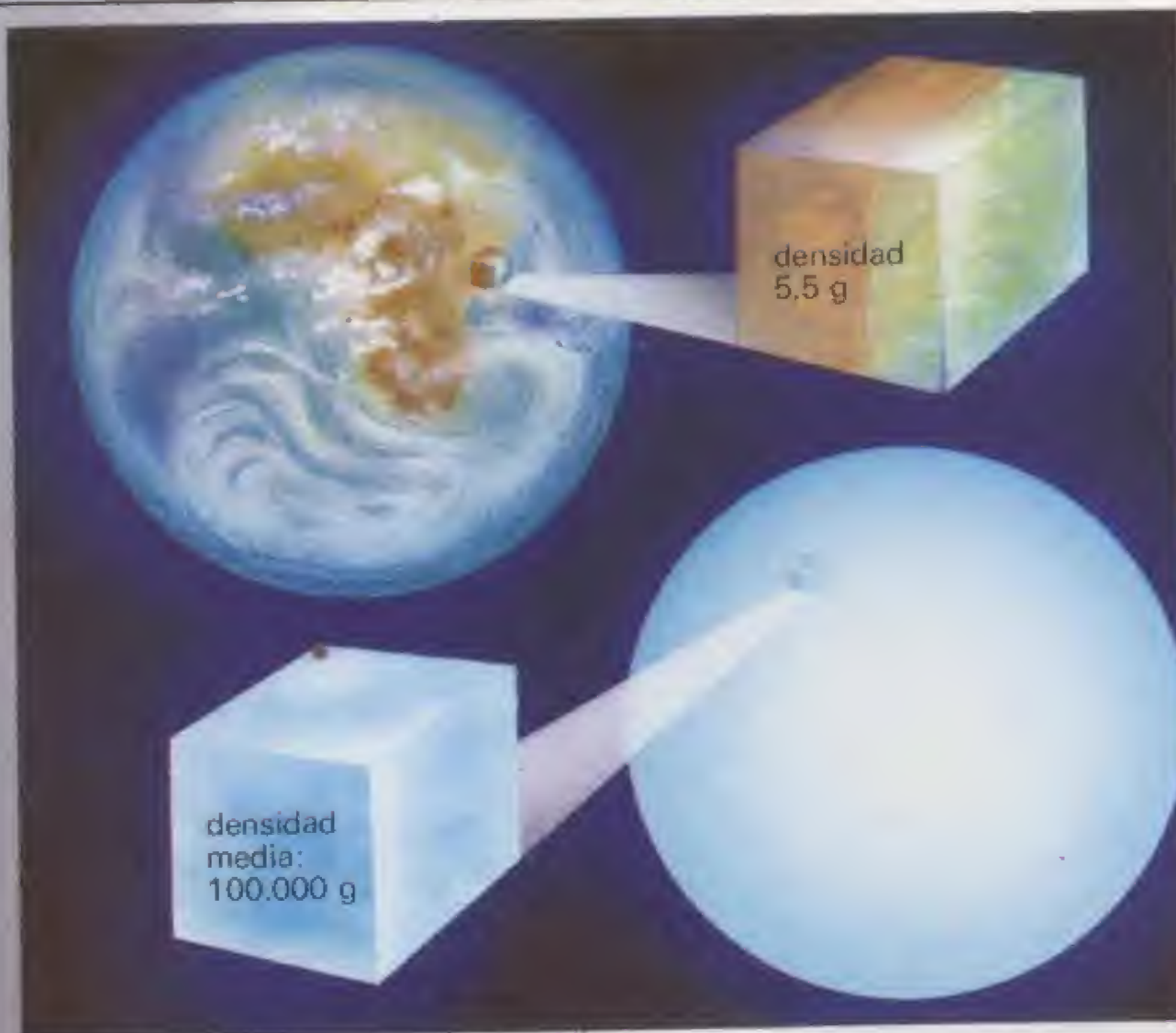
1 El diámetro de una gigante roja es unas 250 veces el diámetro de nuestro Sol (1); éste, a su vez, tiene un diámetro 100 veces mayor que el de una enana blanca (2); si suponemos que la masa inicial de la enana blanca es comparable a la del Sol, observando el dibujo se apreciará claramente hasta qué punto dicha masa debe ser comprimida para alcanzar un volumen tan reducido. Pero esto no es todo: una enana blanca tiene un



diámetro 700 veces mayor que el de un *pulsar* (3). Si se piensa que la masa inicial de la estrella que ha dado origen al *pulsar* era de al menos cuatro veces la del Sol, resulta muy difícil concebir las enormes fuerzas gravitacionales que han actuado sobre la materia estelar para reducirla a un volumen tan pequeño, con el consiguiente aumento vertiginoso de la densidad de la estrella. Esta es la razón por la cual los científicos han definido la materia del *pulsar* como materia



hiperdensa: un estado de la materia con una densidad de cientos de millones de toneladas por centímetro cúbico. ¿Cuál será la densidad de un agujero negro (4) cuyo diámetro equivale a un tercio del diámetro del *pulsar*? Además, la masa inicial de la estrella que ha dado origen al agujero negro es unas cinco a ocho veces la del Sol.



La materia superdensa que constituye las enanas blancas recibe el calificativo de "degenerada" porque está completamente ionizada, es decir, compuesta por núcleos atómicos carentes de electrones y por un "gas" electrónico que se mueve entre los núcleos (pero sin seguir los electrones órbitas definidas, como ocurre en el caso de la materia "normal"). Debido a dicha estructura, esta materia puede ser enormemente comprimida; por esta razón, las enanas blancas pueden colapsarse hasta alcanzar un volumen parecido al de la Tierra, aunque su masa sea enormemente superior.

Los objetos que nos rodean —mesas, sillas, el suelo, un libro— son objetos sólidos, relativamente rígidos; podemos cogerlos, pisarlos, moverlos, incluso subirnos encima de ellos sin producir modificación perceptible en su estructura física. Sin embargo, los científicos han demostrado que los átomos que los constituyen, en comparación a sus dimensiones, están muy lejos unos de otros y que de no ser por la fuerte atracción eléctrica que se ejerce entre ellos la materia se disgregaría. Y es que al ser las *fuerzas interatómicas* mucho más intensas que las *fuerzas gravitacionales* ejercidas por la Tierra sobre los cuerpos, es posible la existencia de cuerpos sólidos y estables a temperatura ambiente.

¿Qué aspecto tendría, entonces, un mundo en el que la fuerza gravitacional tuviese una intensidad superior a la de las fuerzas interatómicas? Los científicos han previsto la existencia de tales mundos en nuestro Universo, aunque hasta ahora no han podido conseguir pruebas directas de la existencia de algunos de ellos.

Las enanas blancas Las estrellas son gigantescos reactores de fusión nuclear: queman su propio núcleo, compuesto casi exclusivamente de *hidrógeno* y *helio*, fundiendo enormes cantidades de energía

a través de las capas exteriores en forma de radiaciones.

Pero también las estrellas envejecen: para las estrellas de masas comparables a la del Sol, la vida media se estima en diez mil millones de años. La primera señal de envejecimiento de una estrella aparece cuando alcanza el estado de *gigante roja*: en esta fase la estrella experimenta una expansión y una disminución de temperatura. Al acercarse la muerte térmica de la estrella, las reacciones nucleares se hacen más lentas, la energía producida por las mismas tiende a extinguirse y la presión de radiación del gas disminuye; es precisamente esta presión la que durante tanto tiempo había mantenido en equilibrio estable la gran masa estelar en contra de las fuerzas de contracción gravitacional. Cuando la energía nuclear decrece, disminuye la oposición que dicha energía presentaba a las intensas fuerzas gravitacionales sobre la superficie de la estrella, y éstas últimas se hacen preponderantes: en consecuencia, la estrella comienza a colapsar sobre sí misma. Las presiones de origen gravitacional continúan ejerciéndose sobre el núcleo, y la estrella va haciéndose más pequeña. ¿Ha perdido masa o únicamente se encuentra comprimida por acción de la fuerza gravitacional?

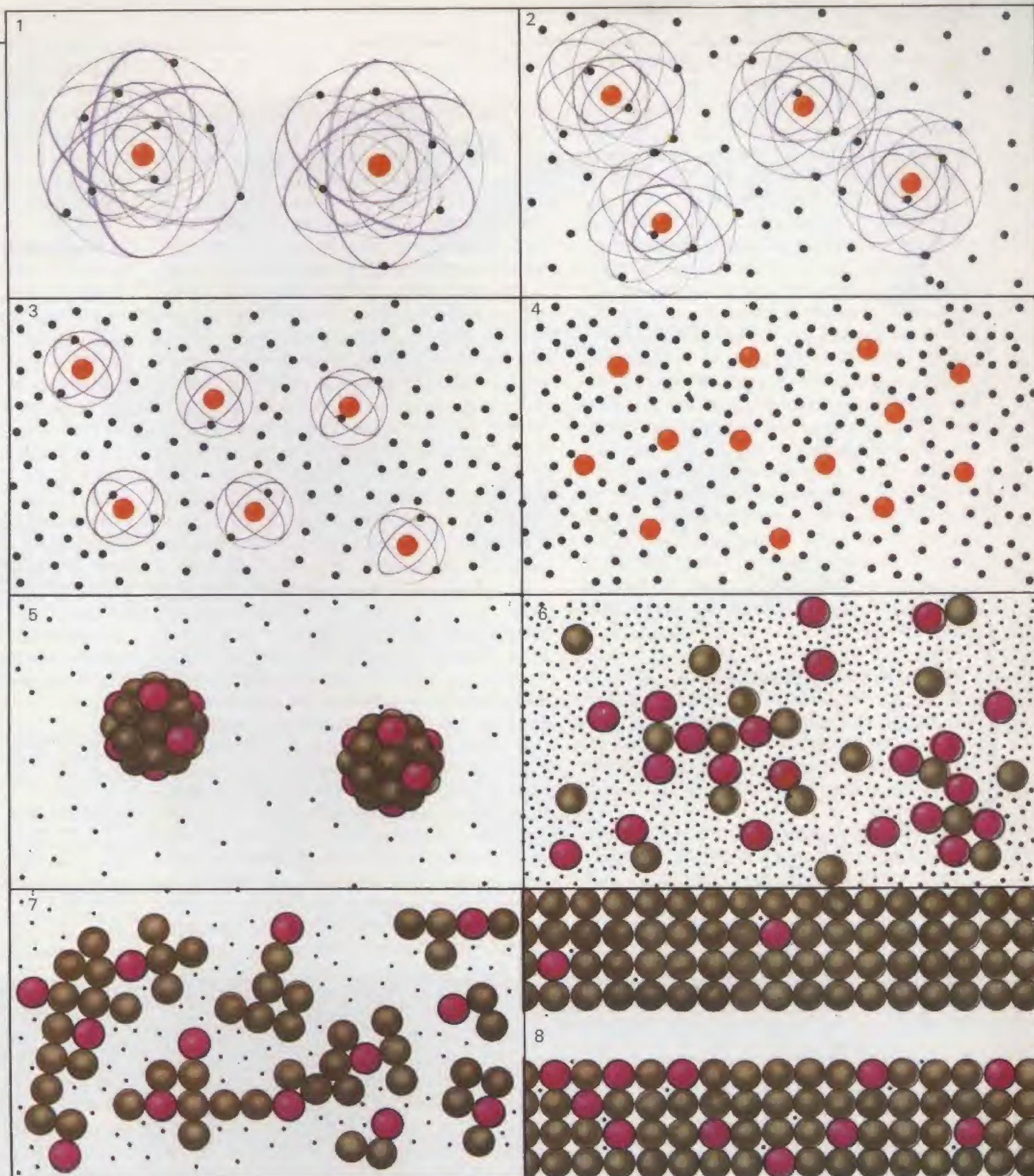
En el caso de estrellas con masa igual o inferior a la del Sol, las fuerzas gravitacionales activas en el momento de su muerte no son excesivamente intensas; al enfriarse, estas estrellas se contraen hasta alcanzar las dimensiones de un planeta y reciben el nombre de *enanas blancas*; en este caso, el colapso se detiene en el momento en que las fuerzas gravitacionales son equilibradas por las fuerzas nucleares que tienden a contrarrestarlas. Estas estrellas siguen enfriándose y terminan por apagarse (*enanas negras*) sin que se produzcan fenómenos catastróficos.

Para las enanas blancas, se habla de *materia superdensa* al definir el estado de la materia supercomprimida en su interior.

estrella de neutrones (*pulsar*)

agujero negro

La materia que constituye los *pulsares* está formada casi exclusivamente por neutrones en contacto entre sí. La materia, tal y como nosotros la conocemos en la Tierra, está formada por átomos separados (1). Si la sometemos a una notable compresión, veremos que los átomos se acercan e ionizan, perdiendo cierto número de electrones de las órbitas más alejadas del núcleo (2). Aumentando la presión se llega a un estado en el que los átomos se encuentran casi completamente ionizados (3), alcanzándose el estado típico de la materia (plasma) en el interior de los núcleos de las estrellas. Cuando se produce el colapso, la fuerza gravitacional de una estrella de gran masa es lo bastante grande como para romper completamente los enlaces existentes entre los electrones y el núcleo (4-5). La figura 5 representa la misma etapa que la 4 pero a mayor escala, para poner de manifiesto que los núcleos atómicos (bolitas rojas en el dibujo 4) están a su vez compuestos por protones (morados) y neutrones (grises). Aumentando aún más la compresión, también las fuerzas nucleares que mantienen unidos los núcleos son eliminadas; entonces neutrones y protones se encuentran libres, formando un "gas" electrónico en el que todas las partículas elementales se hallan libres de ligaduras (6-7). Pero la compresión que se produce durante el colapso de una supernova no se detiene aquí: los protones, cada vez más comprimidos, chocan con los electrones libres, formando neutrones. En este momento se habrá formado el *pulsar* (8): en la corteza (o capa exterior) la materia se encuentra formada casi exclusivamente por neutrones estrechamente unidos entre sí, y la materia interna está compuesta principalmente por neutrones con algunos protones residuales.



Las estrellas de neutrones y los agujeros negros Más interesante es el proceso colapsante de estrellas con masa inicial cuatro veces superior a la del Sol: en este caso, las fuerzas gravitacionales son mucho mayores, por lo que el colapso da lugar en el núcleo a presiones y temperaturas sustancialmente más elevadas.

Al igual que las anteriormente mencionadas, estas estrellas alcanzan en un momento determinado de su evolución el estado de gigante roja, con colapsos y expansiones que se suceden periódicamente. Puede darse el caso de que estas gigantes rojas, bajo unas determinadas condiciones, estallen, dando lugar a uno de los más espectaculares fenómenos conocidos en el Universo: las *supernovas*. Lo que queda después de la explosión —las llamadas *estrellas de neutrones*, o *pulsares*— son los núcleos extremadamente densos de las estrellas supernovas, que, al

estallar, se han desprendido de las capas superficiales; su densidad es aún mayor de lo que era antes de la explosión, debido a las fuerzas nucleares adicionales que se generan como consecuencia del enorme aumento de la temperatura durante la expulsión de las cortezas estelares. La primera de dichas estrellas fue descubierta en 1967 en el centro de lo que se supone fue una supernova: la llamada nebulosa del Cangrejo (*Crab Nebula*).

En las estrellas de neutrones, debido a la enorme masa inicial, la presión es tan fuerte que la estructura atómica se desmorona: electrones y protones, libres de sus ligaduras nucleares, entran en contacto, formando neutrones, que son los que en la práctica constituyen la materia de los *pulsares*; en este caso se habla de *materia hiperdensa*.

El hipotético residuo del colapso de las estrellas más grandes (siete u ocho veces

la masa del Sol) recibe el nombre de *agujero negro*.

Ninguno de estos objetos ha sido, hasta el momento, identificado con certeza y, en cualquier caso, resultaría imposible observarlos, ya que son tan densos y su fuerza gravitacional es tan intensa que ni la luz podría escapar de su potentísimo campo atractivo.

En teoría, este sería el estado más denso en que podría manifestarse la materia, después del correspondiente al de las estrellas de neutrones. Un agujero negro de apenas un centímetro de diámetro tendría una masa igual a la de la Tierra; análogamente, un *pulsar* con una masa igual a la de la Tierra tendría un diámetro de 15 kilómetros.

Véase **Agujero negro; Astrofísica; Átomo; Estrella nova; Estrella supernova; Gravedad y gravitación; Pulsar**

Materia viva

Resulta sorprendente la variedad de la vida sobre la Tierra, tanto en su superficie como por debajo de ella o en la atmósfera que la rodea. En la estratosfera inferior, a muchos kilómetros de la superficie terrestre, se han descubierto organismos vivos tales como bacterias y esporas, que están en suspensión como partículas de polvo. También se han descubierto extraños organismos a enormes profundidades en los océanos, como los grandes y grotescos peces luminosos. La variedad de dimensiones es tal vez más sorprendente aún. Actualmente, el animal más grande es la ballena, y el vegetal de mayor tamaño, la secuoya gigante; mientras que, al parecer, el ser vivo más pequeño es el micoplasma (llamado también PPLO). Este organismo unicelular, que mide unos 1.000 angstroms (0,0000001 m) de diámetro, sólo se puede ver al microscopio electrónico. A primera vista, la ballena, la secuoya gigante y el micoplasma no parecen tener gran cosa en común, pero tienen algo que les hace semejantes: son *materia viva*.

Metabolismo y reproducción Resulta difícil dar una definición de materia viva sin haber definido previamente la vida, aunque los científicos y filósofos han dedicado siglos enteros a esta cuestión sin haber llegado a una definición exhaustiva y definitiva.

Todos los organismos vivos, incluidos la ballena, la secuoya y el PPLO, tienen en común ciertas características que se consideran los criterios básicos de la definición de vida. Todos ellos intercambian sustancias con el medio que los rodea (ali-

mentos, materiales de desecho y otras sustancias químicas), dentro de un proceso constante llamado *metabolismo*. De esta forma, el organismo obtiene la energía necesaria para que funcionen sus propias actividades energéticas.

Además, todos los seres vivos son capaces de crear otros seres semejantes a ellos, o dicho de otra forma, de reproducirse. La *reproducción*, considerada como una transferencia de instrucciones genéticas de padres a hijos, permite también las mutaciones o cambios casuales en los genes. Estas, a su vez, hacen posible la selección natural, que es la forma en que la Naturaleza elige y mantiene las transformaciones más ventajosas originadas por las mutaciones. De esta forma, las especies no sólo se perpetúan en el tiempo, sino que se transforman y adaptan a través de procesos imperceptibles en el prolongado proceso evolutivo, que tiende a una eficacia y complejidad cada vez mayores.

No existe una sustancia o molécula única en la que se basen el metabolismo y la reproducción, y que pudiera considerarse la única "fuente de vida". Por ejemplo: cuando una célula metaboliza, se sirve de la interacción increíblemente rápida de los enzimas (largas moléculas de proteínas que catalizan o aceleran las reacciones químicas dentro de la célula), los coenzimas (moléculas que ayudan a los enzimas) y las moléculas ricas en energía, como las proteínas, que van demoliendo las sustancias nutritivas o sintetizando moléculas útiles. Del mismo modo, la reproducción de una célula se basa en la interacción de los ácidos nucleicos (generalmente ADN o ácido desoxirribonucleico,

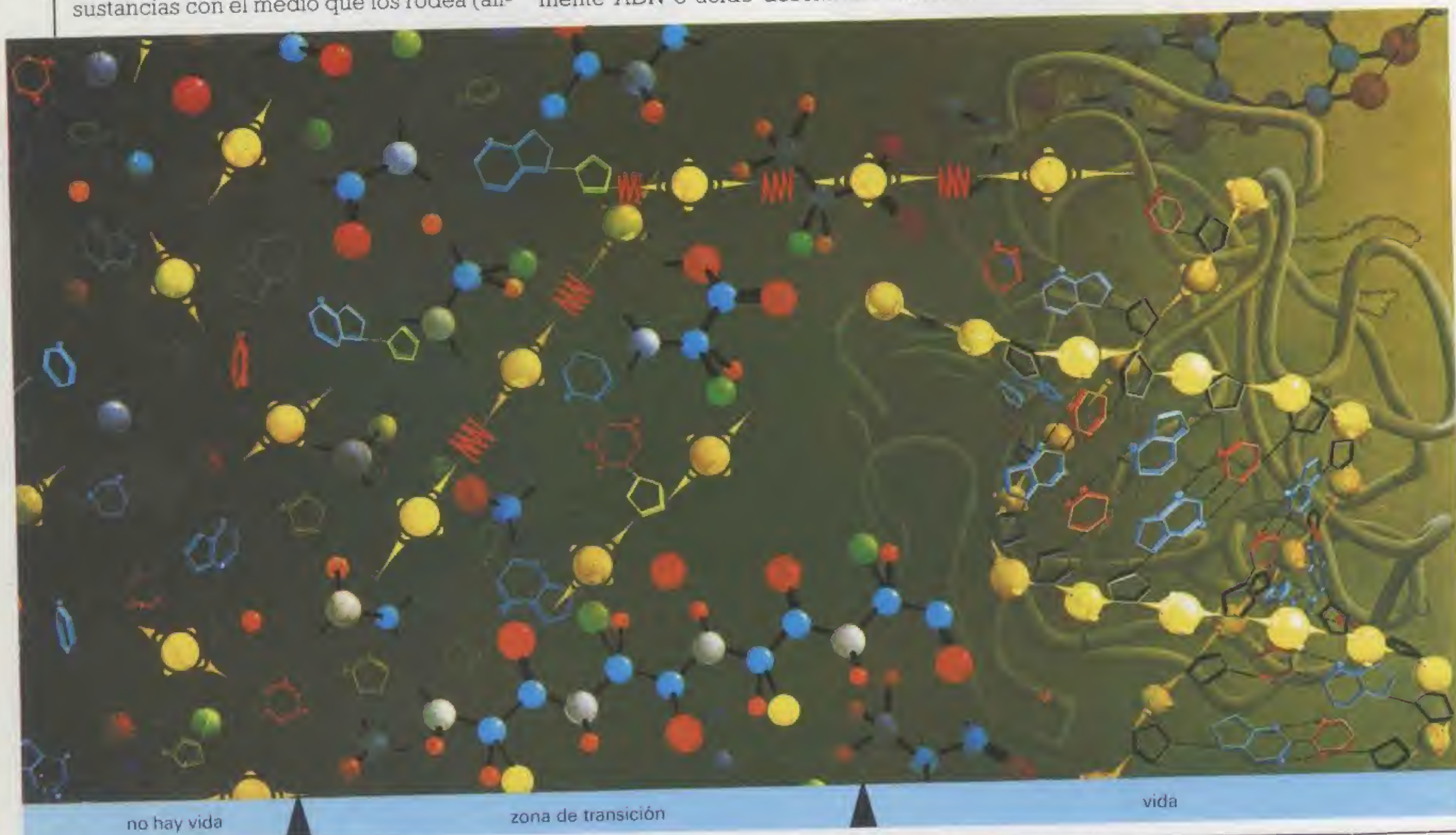
la sustancia que forma los genes), los enzimas y otras estructuras químicas para la replicación del material genético y su reparto en las dos células hijas. Los enzimas son tan eficaces que cada una de sus moléculas, por lo general, puede favorecer la producción de 100 proteínas por segundo.

Funciones complementarias Por lo tanto, se puede pensar que la materia viva consiste en el mínimo indispensable de moléculas que trabajan conjuntamente para realizar el metabolismo, la reproducción y los procesos relacionados con los anteriores. Ninguna de estas moléculas, por separado, se puede considerar materia viva, ya que ni los enzimas ni los ácidos nucleicos por sí solos se pueden clasificar entre las formas de vida.

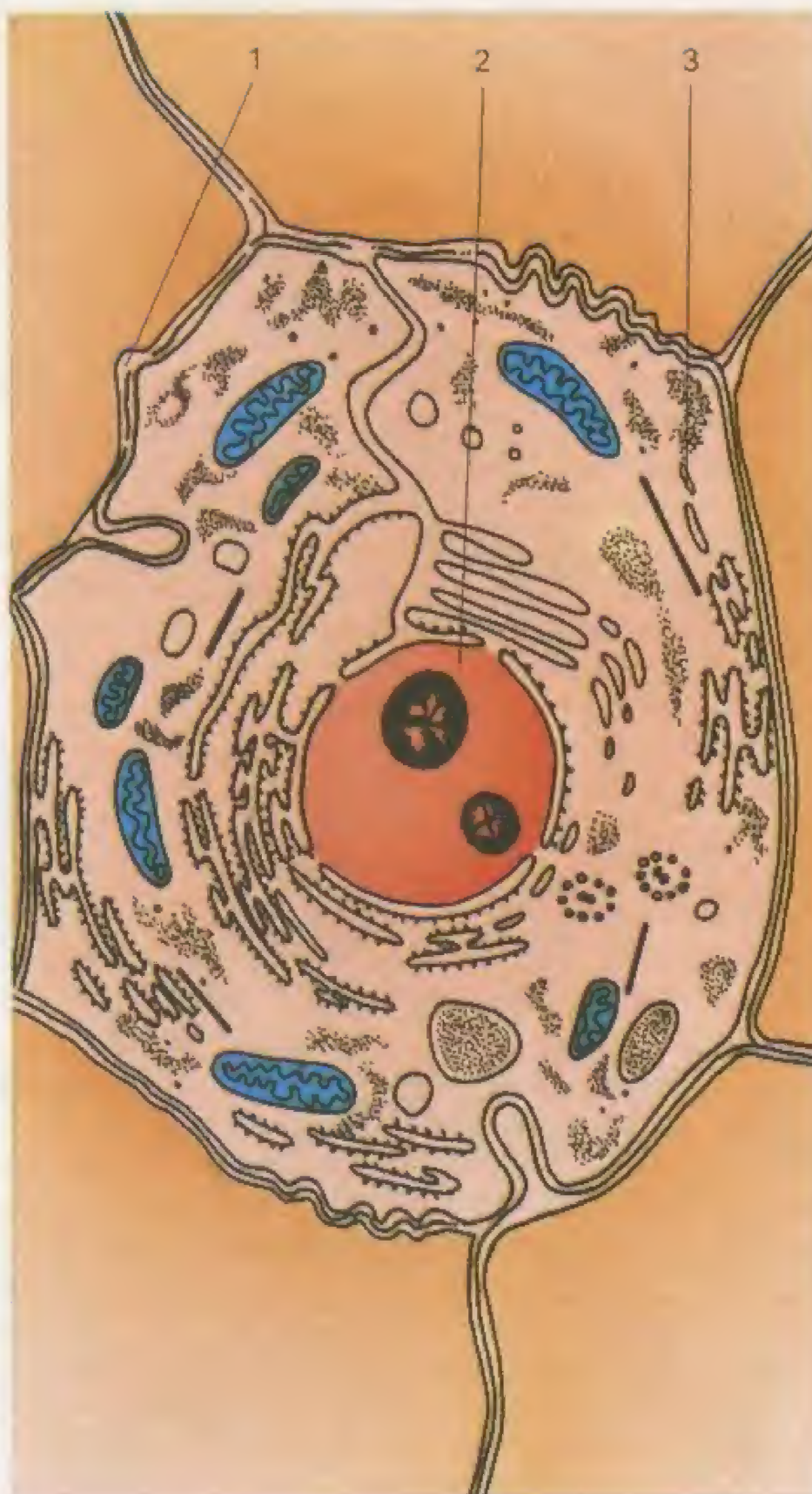
La primera cadena de ácido nucleico, que se pudo formar casualmente en el *caldo primordial* —formado por compuestos orgánicos, monómeros y polímeros—, fue incapaz de replicarse mientras no tuvo las instrucciones bioquímicas (o código) que precisan los enzimas para poder acelerar químicamente la replicación. Y precisamente es la interacción de estas sustan-

Según la hipótesis formulada en los años veinte por el ruso A. I. Oparin, la materia viva se habría formado a partir de la materia prima suministrada por los compuestos presentes en la atmósfera primitiva de la Tierra. Los compuestos orgánicos

simples se habrían polimerizado, dando lugar, en un "caldo" caliente oceánico, a los precursores de los primeros organismos, agrupados en gotitas gelatinosas. Después, en un determinado momento, aparecería la selección natural, que aceleraría el proceso.



Aquí vemos, comparadas, una célula animal (izquierda) y una célula vegetal (derecha). Se trata del mismo tipo de unidad estructural básica para cumplir funciones esencialmente similares en cada una de las células. Ambas muestran la misma organización típica de las células eucariotas. En efecto, tienen un núcleo (2) bien definido, rodeado por la membrana a través de la cual tienen lugar los intercambios de material con el citoplasma (3) que lo rodea. Otra característica común es la membrana (1) y los orgánulos, aunque la célula vegetal tiene una estructura más simplificada. Pero no todo son semejanzas. En seguida aparecen elementos que, presentes o ausentes, diferencian un tipo de célula del otro. Así, los *plastidios*, que son gránulos que intervienen en el proceso fotosintético, y la *pared* (4), un rígido revestimiento externo de la membrana citoplasmática, sólo se encuentran en las células pertenecientes propiamente al reino vegetal. La pared está formada sobre todo por celulosa, polisacárido a base de moléculas de glucosa.



Las sustancias fundamentales de la materia viva pueden estar formadas por unos pocos elementos, que sin embargo forman innumerables configuraciones. Los ácidos nucleicos, por ejemplo, contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo, que forman complejas combinaciones. Los aminoácidos, que se unen por medio de ciertos enlaces químicos y forman las proteínas, grandes polímeros o cadenas moleculares, están formados por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. Las moléculas especiales que almacenan energía, como el adenosintrifosfato o ATP, tienen los mismos componentes que los ácidos nucleicos.

Sin embargo, estos elementos no se pueden considerar materia viva. En el caso de que mezcláramos en un alambique carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre en la proporción adecuada, ¿lograríamos obtener un aminoácido? En absoluto, ya que la materia viva es algo más que la suma de sus componentes atómicos.

Carbono: elemento clave Hay que señalar, en lo que respecta a los seis elementos principales, que el hidrógeno y el oxígeno se suelen encontrar en forma de agua. En la mayoría de los organismos vivos el agua representa cerca del 90% (y generalmente nunca baja del 50%) del peso total. Si se elimina el agua, lo que prevalece es el carbono. Este elemento cons-

tituye casi la mitad del peso resultante, lo que da una idea de la importancia del carbono en la materia viva. De hecho, la materia que contiene carbono recibe el nombre de *orgánica*, debido a que el carbono se encuentra en todas las formas vivas o en sus restos.

De todos los elementos del sistema periódico, el carbono es el que se presta mejor a la unión con otros átomos para formar moléculas complejas y al mismo tiempo estables. La capa externa del átomo de carbono tiene cuatro orbitales vacíos, es decir, cuatro fisuras que le permiten compartir otros tantos electrones con los orbitales de otros átomos. También se puede unir consigo mismo en forma muy estable; los átomos de carbono se pueden enlazar para formar sólidas cadenas, anillos o estructuras complejas que tienen una configuración básica con innumerables posibilidades de añadir segmentos. En este sentido, el carbono suministra una especie de esqueleto químico básico, al que se van añadiendo otros elementos. Para todas las formas de vida que existen sobre la Tierra, bastan unos 1.500 compuestos de este tipo.

Carbono y metabolismo La función desempeñada por el carbono en el metabolismo da una idea sobre su gran importancia, no sólo como elemento estructural, sino también como elemento dinámico de la materia viva. En las plantas es neces-

rio para la fotosíntesis, proceso mediante el cual las plantas aprovechan la energía solar para producir su propio alimento (esta autosuficiencia metabólica recibe el nombre de *autotrofismo*).

Las plantas verdes toman dióxido de carbono (CO_2) del aire, y agua (H_2O) a través de las raíces. Estos ingredientes básicos de la fotosíntesis se unen en los cloroplastos de cada célula, donde en primer lugar se almacena la energía radiante del Sol para utilizarla después en la demolición del dióxido de carbono y el agua. Con la energía proporcionada por el Sol la célula produce moléculas de azúcar (que se construyen alrededor de un esqueleto de átomos de carbono) y desecha el oxígeno en exceso bajo forma de moléculas de O_2 .

Después, la planta puede quemar la molécula de azúcar —en un proceso llamado *oxidación*— para obtener la energía necesaria para las otras funciones celulares.

Metabolismo animal En los animales, incluido el hombre, los alimentos no se producen dentro del organismo, sino que se obtienen de fuentes externas (*heterotrofismo*). Las tres fuentes principales de alimento son compuestos de carbono: hidratos de carbono (azúcares y almidones), proteínas y lípidos (grasas y aceites). Al igual que las plantas, la mayor parte de los animales consume oxígeno para que-

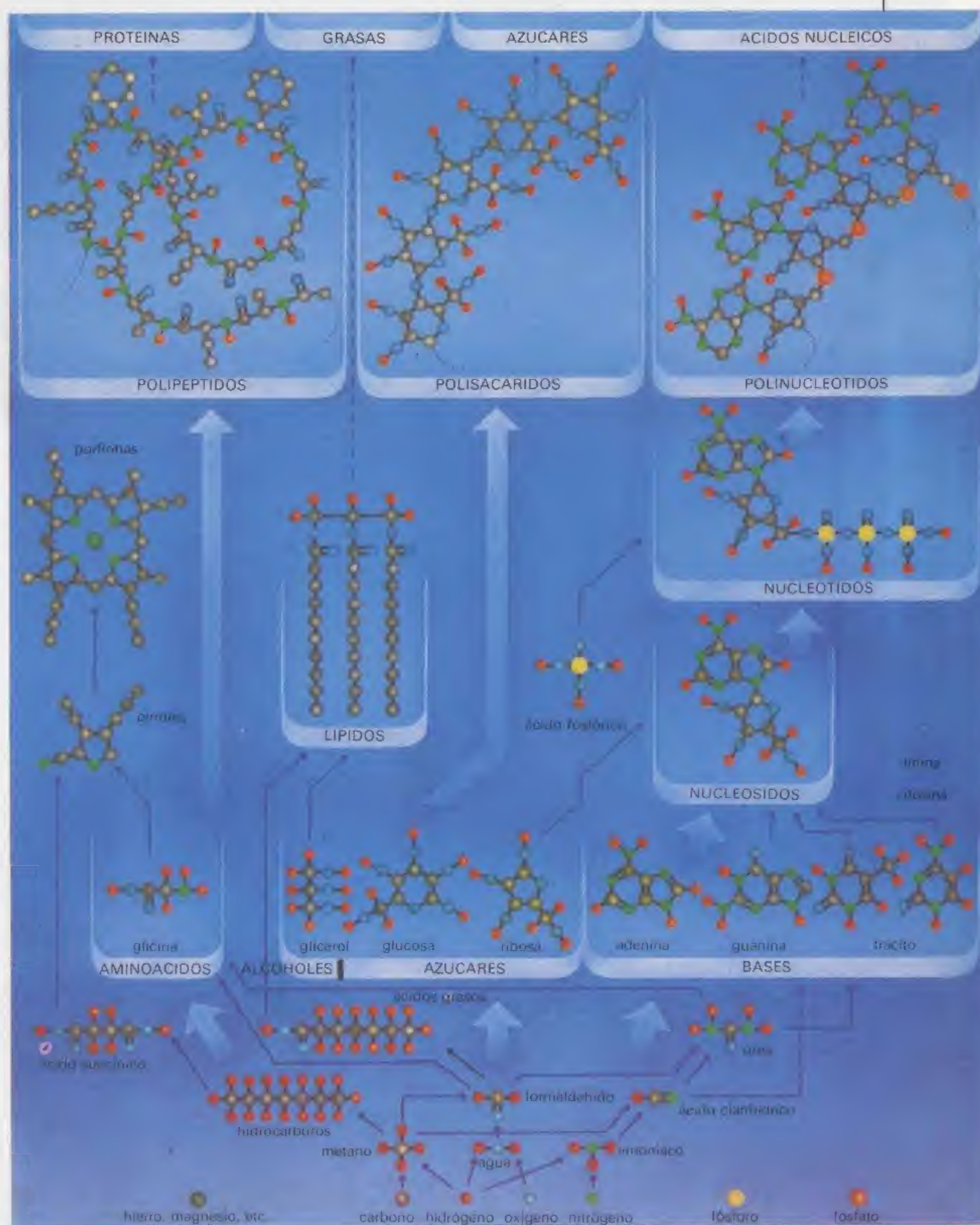
mar la sustancias nutritivas (*respiración*), produciendo dióxido de carbono como elemento de desecho. En los animales el proceso de oxidación tiene lugar en las mitocondrias, donde se encuentra gran cantidad de enzimas que aceleran la demolición de las sustancias nutritivas. La sangre transporta el dióxido de carbono de las células del organismo hasta los pulmones, desde donde es expulsado mediante la respiración. Así pues, el dióxido de carbono —producto de desecho del metabolismo animal— constituye un material básico del metabolismo vegetal, mientras que el oxígeno —producto de desecho del metabolismo vegetal— resulta esencial en los animales para obtener energía a partir de los alimentos. Los ciclos complementarios del carbono y el oxígeno son dos de los procesos fundamentales de la vida. Es más, se cree que desde los primeros pasos a partir del origen de la vida se ha establecido un equilibrio entre las reacciones químicas de producción de biomasa primaria (mediante fotosíntesis) y las de consumo por parte de la biomasa secundaria (mediante la actividad alimentaria de los animales). Del equilibrio entre productores y consumidores depende su supervivencia en el planeta. Se trata, por supuesto, de una situación dotada de un margen de inestabilidad considerable: es un equilibrio dinámico, que, con el paso del tiempo, alcanza distintos niveles de ajuste. Vemos, pues, que es necesario que los niveles globales del metabolismo animal estén coordinados con los del metabolismo vegetal. Existe un tercer tipo de organismos, los *descomponedores*, que garantizan dicha relación. La organización metabólica de estos últimos no se puede encasillar ni en el reino animal ni en el vegetal. Se trata de organismos, como las bacterias y hongos, capaces de demoler las enormes cantidades de materia orgánica muerta que liberan en el medio los organismos vivos vegeta-

les y animales. Los cadáveres procedentes de ambos y los excrementos de los animales están formados por moléculas complejas que son reducidas a materiales inorgánicos, susceptibles de ser utilizados por los productores.

Actividad óptica Otra de las peculiaridades del carbono es la forma en que confiere actividades ópticas a las sustancias orgánicas. La actividad óptica es una propiedad de ciertas moléculas, que pueden hacer girar el plano de la luz polarizada. Dicha luz viaja normalmente en planos altamente organizados (verticales o laterales, por ejemplo). Pero, al pasar por determinados compuestos a base de carbono, el plano de la luz se desvía a la izquierda o a la derecha. Esta desviación depende de la estructura de la molécula

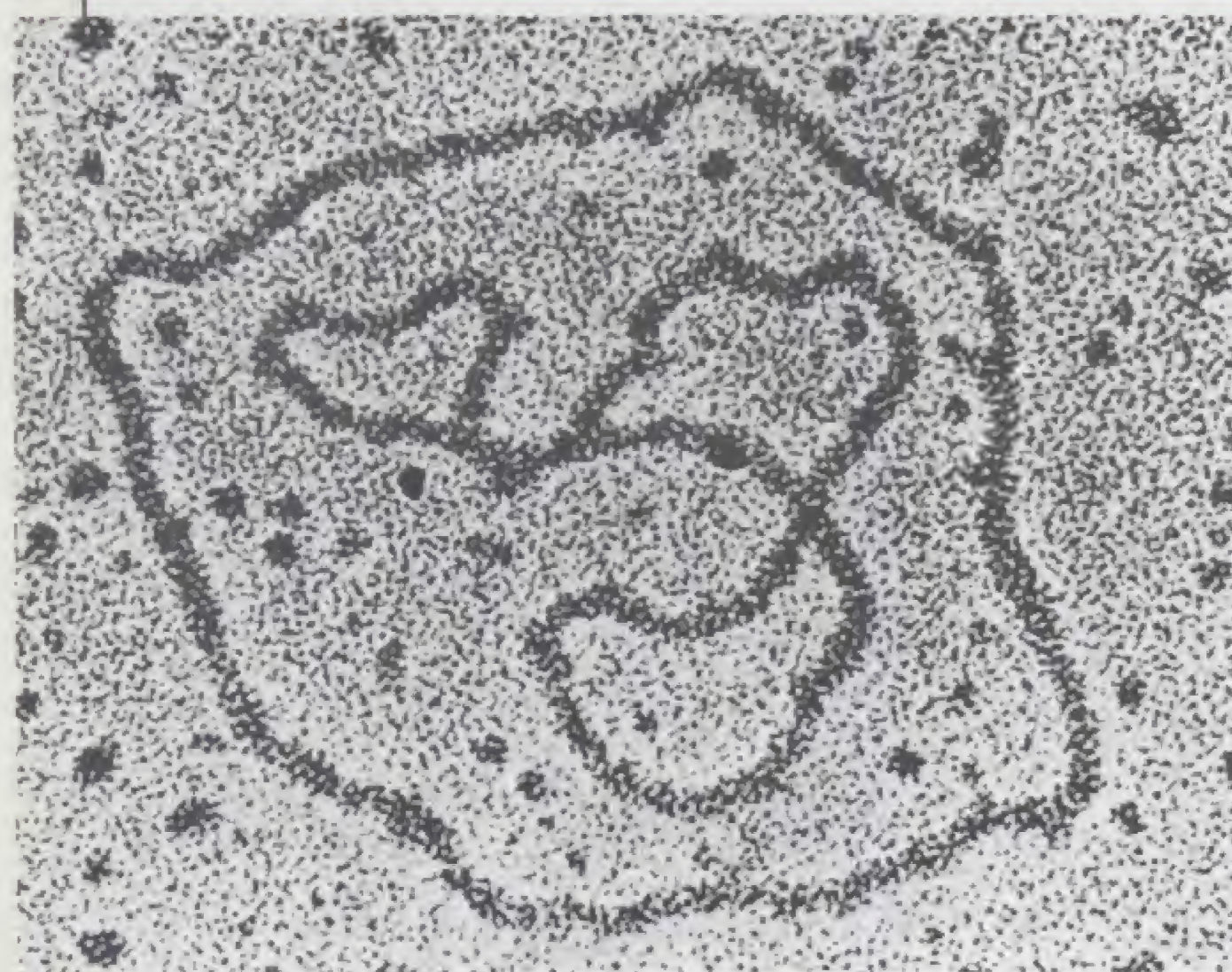
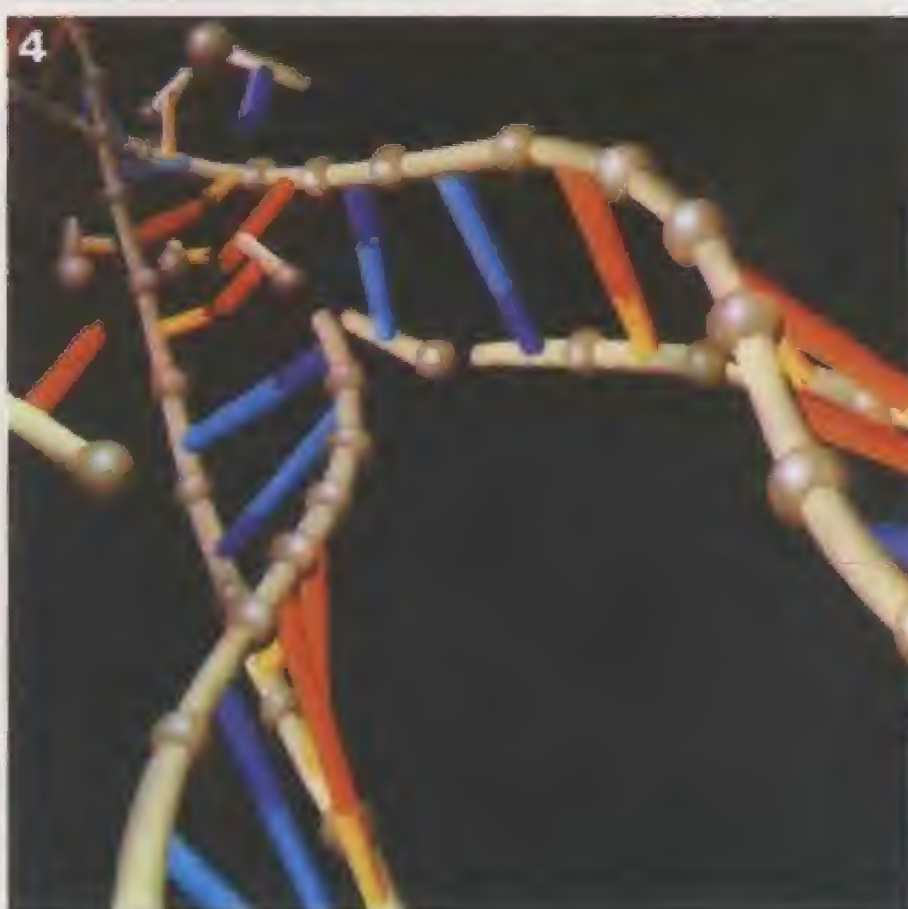
a base de carbono, y es, por lo tanto, específica de cada compuesto, hasta el punto de que el grado de desviación sirve para identificar una sustancia orgánica.

La actividad óptica se basa estrictamente en la estructura molecular. Dado que el átomo de carbono tiene cuatro electrones para compartir, se le puede representar como una estructura tridimensional con tres brazos colocados como los pies de un trípode y un cuarto brazo hacia arriba. Cada brazo es un punto de potencial combinación (o enlace) con otros átomos o grupos de átomos. La consecuencia de esto es que cuando un átomo de carbono se combina con otros átomos o grupos de átomos completamente distintos, puede hacerlo de dos formas distintas, con la misma probabilidad que existe de que salga "cara" o "cruz" al lanzar una



A partir de algunos elementos químicos simples se han ido formando gradualmente moléculas orgánicas de complejidad creciente. De abajo a arriba, encontramos en primer lugar los precursores químicos más importantes del medio: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros en menor cantidad. A partir de ellos han ido surgiendo, probablemente, las biomoléculas de grado evolutivo superior, como los hidrocarburos, los ácidos grasos y la urea, que a su vez se han transformado en compuestos llamados *unidades fundamentales*,

(monómeros), es decir, aminoácidos, bases y azúcares. Las biomoléculas fundamentales han ido uniéndose entre sí a continuación, hasta formar macromoléculas (polímeros): ácidos nucleicos, proteínas, azúcares complejos o polisacáridos, y grasas. Concretamente, al unirse varios aminoácidos se forman las proteínas; los nucleótidos son, en cambio, las unidades fundamentales de los ácidos nucleicos; los monosacáridos forman los polisacáridos; por su parte, los ácidos grasos son las unidades fundamentales de la mayor parte de los lípidos.



moneda. Estas moléculas se llaman *asimétricas*.

Moléculas asimétricas Un enzima, por ejemplo, puede ser una molécula asimétrica. Al núcleo central de carbono se pueden unir cuatro grupos químicos diferentes. La configuración estructural de esta molécula enzimática se puede comparar

La molécula de ADN, o ácido desoxirribonucleico, está formada por cuatro unidades fundamentales, llamadas *nucleótidos* (1). Cada uno de estos nucleótidos viene a estar constituido, a su vez, por tres partes típicas: una

molécula de ácido fosfórico (que en la ilustración es una esfera), una base nitrogenada (*timina* en amarillo y *citosina* en morado, las más cortas; *adenina* en naranja y *guanina* en azul, las más largas) y un azúcar de cinco átomos de carbono, a desoxirribosa. Entre las bases nitrogenadas hay enlaces rigidamente determinados (adenina con timina y citosina con guanina) y el resultado es la unión de los nucleótidos. Estos, además, se enlazan en una secuencia lineal con otros por medio del ácido fosfórico (2), formando la típica doble hélice del ADN. Durante la división celular, los enlaces entre las bases se rompen (3) y cada una es el molde para la síntesis de la otra complementaria (4). Los nucleótidos libres que se encuentran en el citoplasma se unen al mencionado "molde" en un orden preciso, dando así lugar a la exacta replicación del ADN (5).

con un par de guantes: a pesar de estar formada por el mismo núcleo de átomos, combinados de la misma forma, una de las dos posibles estructuras difiere de la otra de la misma forma que un guante se diferencia de su gemelo. Son como la imagen reflejada una de la otra, y no se pueden superponer para ocupar el mismo espacio.

Esta simetría es de gran importancia. Cuando un enzima cataliza una reacción en una célula, se adapta a una molécula como un guante, estableciéndose un estrecho contacto entre ambos. Un enzima "diestro" será eficaz con una molécula "diestra", mientras que frente a una molécula "zurda" le pasaría lo mismo que al intentar poner un guante derecho en la mano izquierda.

Es este tipo de adaptación química el que la Naturaleza ha dado a la materia viva. En todos los organismos vivos, las moléculas pueden ser dextrógiras o levógiras; es decir, todas comparten la misma asimetría, aunque las probabilidades de producir moléculas orientadas de distinta forma sean de un trillón (10^{18}) contra uno.

En efecto, todos los organismos vivos de la Tierra, todos los aminoácidos, polímeros complejos como las proteínas, poseen el mismo tipo de asimetría: son levógiras. Por otro lado, casi todos los azúcares sencillos son dextrógiras. En un cálculo de probabilidades, es como si al lanzar

una moneda millones de veces siempre saliera "cara" y nunca "cruz".

Todavía no se ha esclarecido la causa de que las moléculas hayan llegado a ser dextrógiras o levógiras, pero esta selección parece estrechamente ligada al origen de la Tierra.

Una explicación plausible es que la primera cadena de ácido nucleico, formado tal vez por colisiones y uniones casuales en el caldo primordial de sustancias químicas, formase un código genético para aminoácidos levógiros (como si fuera un primer lanzamiento de la moneda).

Una vez establecido el código genético para formar aminoácidos levógiros, la casualidad deja de ser un factor dentro del proceso. Toda la máquina bioquímica, en su desarrollo, dependería de sus orígenes levógiros.

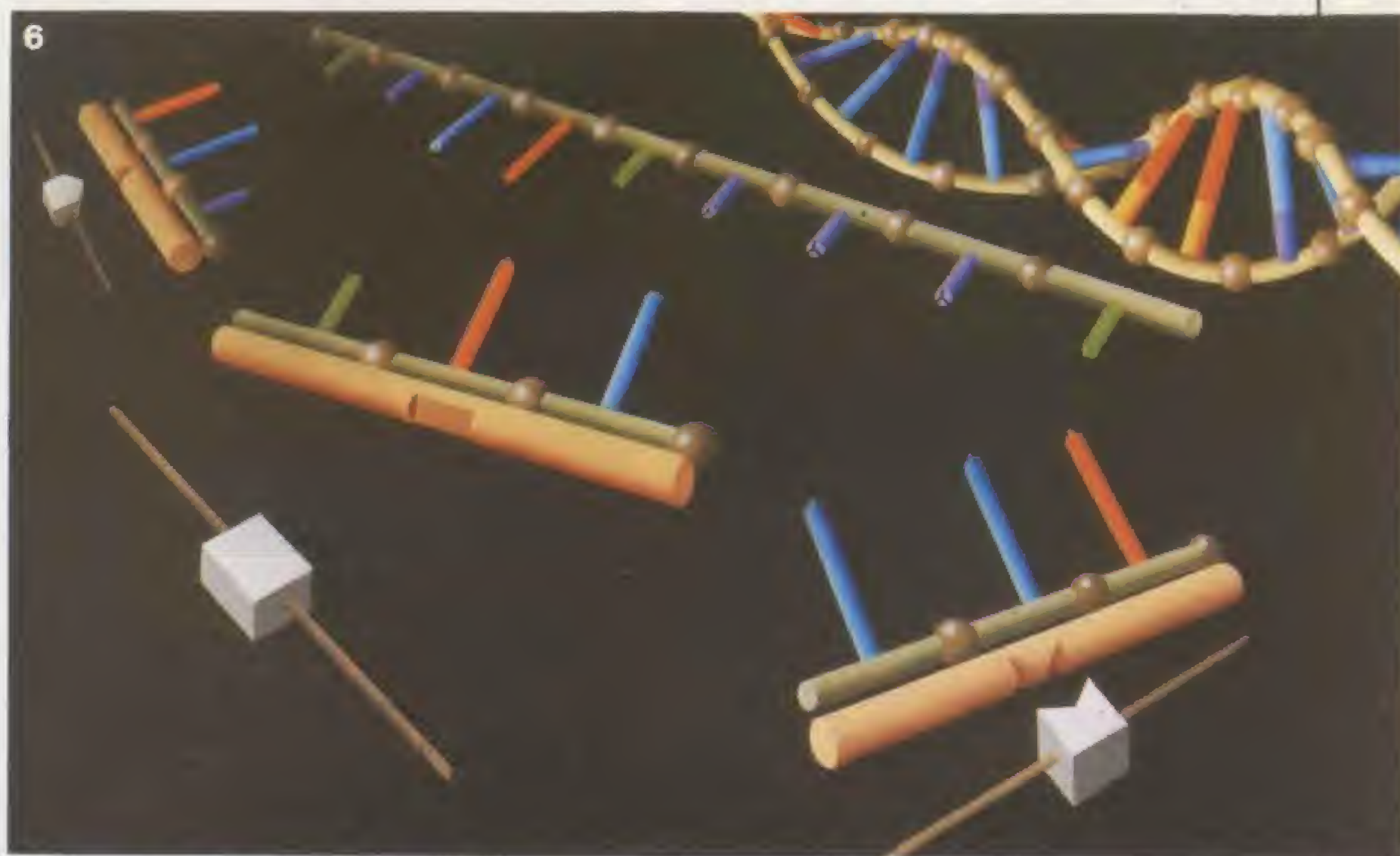
Síntesis proteica Aun disponiendo únicamente de aminoácidos levógiros, el número de proteínas que se puede formar es enorme. En la síntesis proteica de los seres humanos se emplean 20 aminoácidos, y conviene recordar que incluso una modesta cadena de seis aminoácidos ofrece la posibilidad de 64 millones de combinaciones distintas (hay 20 aminoácidos para cada uno de los seis lugares).

Algunas proteínas complejas, como los enzimas, pueden estar formadas por miles de aminoácidos. Como hemos dicho ya, dichos enzimas son las sustancias que facilitan las reacciones de cada célula, que descomponen las sustancias nutritivas, construyen las nuevas moléculas y organizan las sustancias químicas que forman las cadenas de ADN y ARN, que a su vez permiten la reproducción.

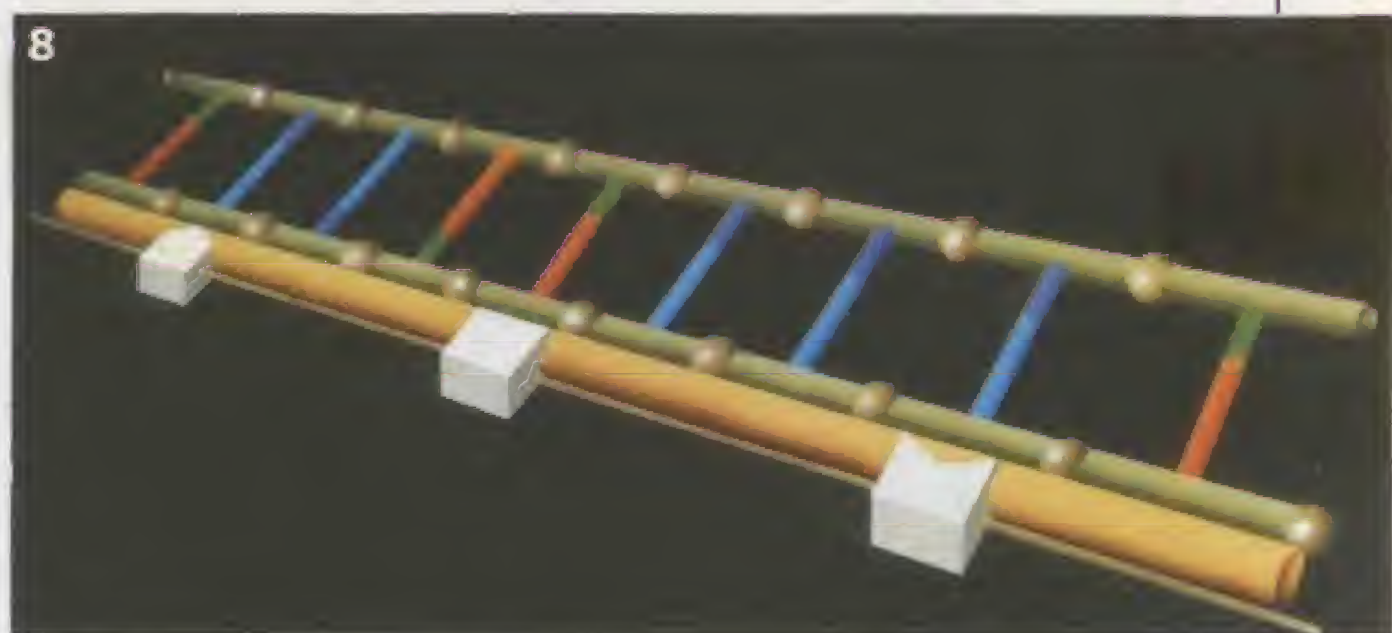
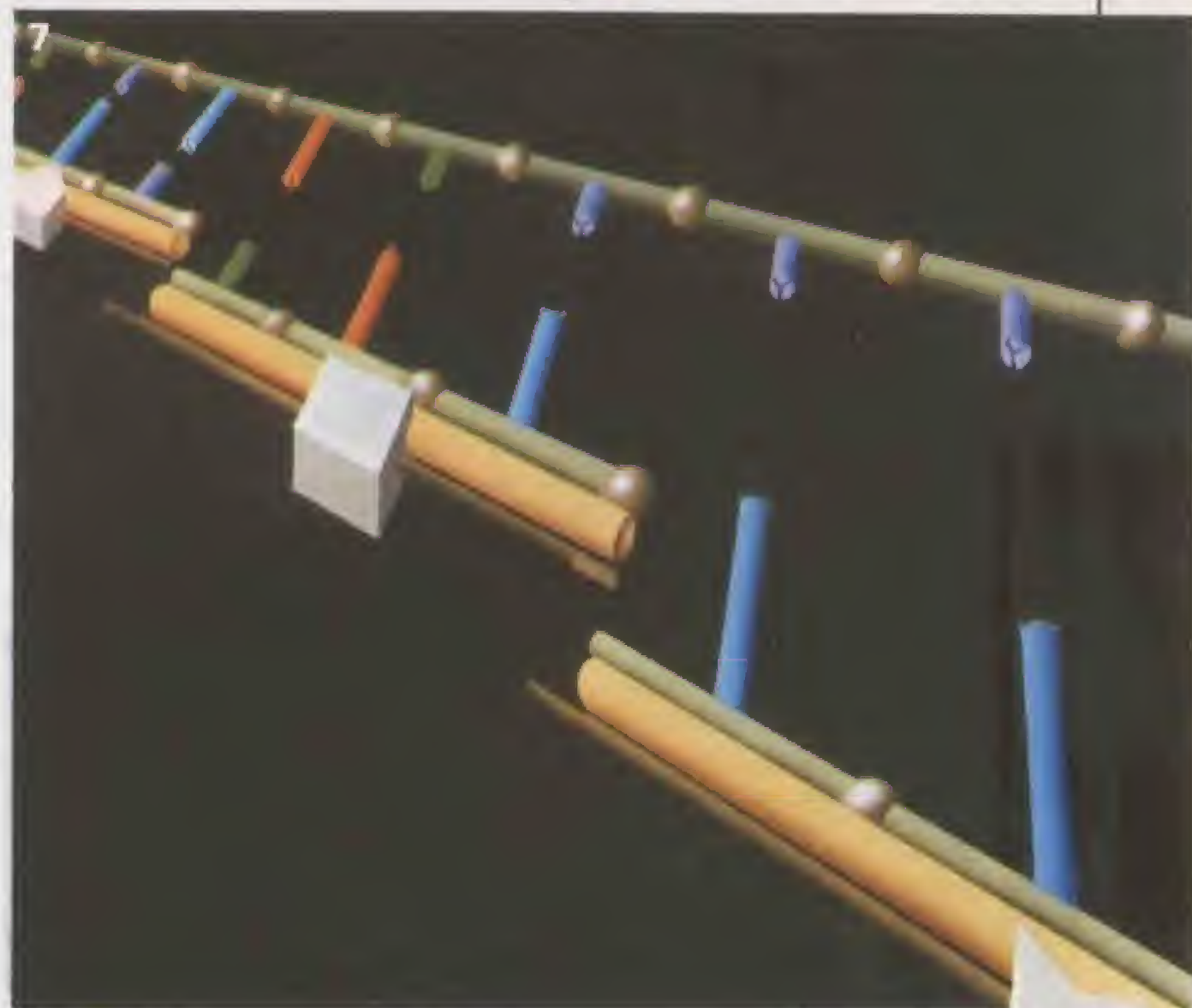
Ácidos nucleicos Los ácidos nucleicos —ADN y ARN— trabajan conjuntamente con los enzimas, en una relación que tal vez sea la cualidad fundamental de toda la materia viva. El ADN proporciona las instrucciones químicas para la síntesis de las proteínas, incluidos los enzimas; estos últimos catalizan las reacciones en el interior de la célula, incluyendo la separación de una cadena de ADN de su gemela y la formación de una cadena complementaria.

El papel del carbono en los ácidos nucleicos es también de gran importancia. La molécula de ADN está formada por una doble hélice, una especie de escalera de caracol cuyos peldaños están formados por compuestos complementarios, purinas y pirimidinas (bases nitrogenadas). El armazón del ADN lo constituyen los azúcares de cinco átomos de carbono unidos a un grupo "fosfato" (un grupo de átomos con un átomo de fósforo en el centro).

Bases nitrogenadas Las dos purinas (adenina y guanina) están formadas por dobles anillos de nitrógeno y carbono, mientras que las dos pirimidinas (citosina y timina) están formadas por anillos sencillos de carbono y nitrógeno. La adenina sólo se une a la timina, y la timina a la citosina. Cuando la molécula se divide en



Es posible observar el ADN por medio del microscopio electrónico. En efecto, en la fotografía en blanco y negro de la página anterior se distinguen dos moléculas de ADN de doble hélice en fase de duplicación. Además de duplicarse, el ADN es capaz de fabricar el ácido ribonucleico, el ARN (6). Este compuesto, llamado *ARN mensajero*, difiere del ADN en que el uracilo sustituye a la timina y la ribosa a la desoxirribosa. El ARN transmite las informaciones acerca de la secuencia de aminoácidos (bloques blancos con barra marrón), que se construyen uniendo los ARN solubles en el citoplasma, cada uno de los cuales está relacionado con un aminoácido. El ARN mensajero reclama a los ARN solubles (7), que se insertan en él de forma complementaria (8). Los aminoácidos se ponen así en estrecho contacto, y pueden unirse entre sí formando una cadena polipeptídica, es decir, una proteína. A continuación el ARN soluble se separa del mensajero y vuelve a estar libre en el citoplasma.



dos cadenas, los peldaños se rompen y de esta forma se puede reproducir una copia especular exacta de cada cadena. Este sencillo sistema constituye la base de la continuación de la vida y de su constante evolución.

Tanto en la ballena como en la sequoia y el PPLO, estos simples ladrillos —el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitróge-

no, el azufre y el fósforo— forman los enzimas que construyen los ácidos nucleicos, y los ácidos nucleicos que producen los enzimas. Tanto en los organismos unicelulares como en los seres más evolucionados de la Tierra, ésta es la base de la materia viva.

Véase **Evolución; Gen; Vida, origen de la**

Matrices

Uno de los objetos matemáticos de mayor aplicación en la Ciencia y la Técnica en las últimas décadas es, sin duda, el de *matriz*. En una primera aproximación podría decirse, simplemente, que se trata de una tabla rectangular (en particular, cuadrada) de números para la que se definen una serie de operaciones y propiedades. Más formalmente cabe definirla del siguiente modo: sea \mathbb{K} el cuerpo de los números reales, \mathbb{R} , o el de los complejos, \mathbb{C} (en realidad la teoría puede extenderse a otros cuerpos o, incluso, anillos); se llama *matriz rectangular de dimensiones* $m \times n$ a una tabla de mn elementos de \mathbb{K} dispuestos en m líneas horizontales y n verticales llamadas, respectivamente, *filas* y *columnas*. Cuando la matriz es tal que $m = n$ se la llama *cuadrada* y se dice que su *dimensión* u *orden* es n .

Los miembros de \mathbb{K} que forman la matriz se denominan sus *elementos* (o *componentes*, a veces). Se suelen designar por una letra con dos índices, que dan cuenta de la fila y columna en que se encuentran; normalmente se usan subíndices, el primero para la fila y el segundo para la columna. La matriz se suele denotar con una letra mayúscula, o por sus elementos; por ejemplo: $A = (a_{ij})$ ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$) quiere decir que la matriz A tiene m filas y n columnas y que su elemento genérico es el a_{ij} (elemento que ocupa el lugar j -ésimo en la fila i -ésima). Otras veces se ponen todos los componentes encerrados entre paréntesis o corchetes en la forma

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

A la vista de la anterior disposición, además de las *filas*, o líneas horizontales, y *columnas* o líneas verticales, también puede hablarse de *diagonales*; sobre todo, en el caso de las matrices cuadradas, de la llamada *diagonal principal*: $a_{11}, a_{22}, \dots, a_{nn}$.

Dos matrices, A y B , son iguales cuando están definidas sobre el mismo \mathbb{K} , tienen las mismas dimensiones y los elementos que ocupan posiciones homólogas son iguales; es decir: $A = B$ equivale a $a_{ij} = b_{ij}$ para todo $i = 1, \dots, m$ y todo $j = 1, \dots, n$ (si las dimensiones de ambas son $m \times n$). Cuando $m = n = 1$ las matrices tienen un solo elemento y se identifican con los elementos de \mathbb{K} . Cuando la matriz se reduce a una fila o a una columna de n elementos se identifica con los vectores de \mathbb{K}^n .

Matrices especiales A partir de una matriz A pueden deducirse otras que guardan cierta relación con ella. Conviene citar algunas de las más interesantes. Se llama *transpuesta* de A , y se denota A' , a la matriz que tiene por elementos $a'_{ij} = a_{ji}$. Las dimensiones de A' son $n \times m$, si las de A son $m \times n$; las filas y columnas de A' son las columnas y filas, respectivamente, de A . Para el caso de matrices de elementos complejos pueden definirse también la matriz *conjugada* y la *adjunta*. Se llama *conjugada* de A , y se escribe \bar{A} , a la matriz que tiene por elementos los comple-

jos conjugados de los de A ; es decir si $\bar{A} = (\bar{a}_{ij})$ se tiene que $\bar{A} = (\bar{a}_{ij})$. Se llama *matriz adjunta* de una matriz cuadrada A a la conjugada de la transpuesta, es decir \bar{A}' (algunos autores la llaman *transconjugada*, o *conjugada hermítica*, y reservan el nombre de *adjunta* para la matriz transpuesta de la que resulta de la A al sustituir cada a_{ij} por el valor de su correspondiente determinante adjunto en el caso de matrices cuadradas).

Si A es cuadrada, y su determinante no es nulo, se llama *inversa* de A , y se escribe A^{-1} , a la matriz que resulta de dar los siguientes pasos: primero, se sustituye cada a_{ij} por el valor de su determinante adjunto; segundo, se traspone; y, tercero, se dividen todos los elementos por el valor del determinante de A . (El nombre de *inversa* de A procede del hecho de actuar como recíproca de ésta en el producto de matrices que se define más adelante).

Una matriz cuadrada se dice que es *simétrica* si coincide con su *transpuesta*; es decir si $A' = A$ o, lo que es lo mismo si $a_{ij} = a_{ji}$. Se llama *hermítica* si es cuadrada, de componentes en \mathbb{C} y tal que coincide con su *adjunta* (o *transconjugada*); es decir si $\bar{A}' = A$ o, lo que es lo mismo, si $a_{ij} = \bar{a}_{ji}$ (una matriz real simétrica es hermítica).

Una matriz real cuadrada es *ortogonal* si se cumple que su transpuesta coincide con su inversa; es decir si $A' = A^{-1}$. Una matriz cuadrada compleja es *unitaria* si su adjunta coincide con su inversa; o sea $\bar{A}' = A^{-1}$ (una matriz real ortogonal es unitaria).

Operaciones algebraicas con matrices Sean A y B dos matrices sobre el mismo cuerpo y de dimensiones iguales, $m \times n$; sean sus componentes, respectivamente, a_{ij} y b_{ij} . Se llama, entonces *suma* de ambas, escribiéndose $S = A + B$, a la matriz cuyas componentes son $s_{ij} = a_{ij} + b_{ij}$. Obviamente $A + B$ tiene las mismas dimensiones y está definida sobre el mismo cuerpo que A y B .

La suma de matrices tiene, como se comprueba inmediatamente, las propiedades conmutativa y asociativa. También existen para dicha operación la *matriz nula* o *cero*, que es la que tiene todos sus componentes nulos, y la opuesta de toda matriz A , que es, simplemente, la que tiene por elementos los opuestos de los de A . Resulta, pues, que las matrices de dimensiones $m \times n$ sobre \mathbb{R} o sobre \mathbb{C} forman un *grupo abeliano*. En él, naturalmente puede definirse la *diferencia*:

$$B - A = B + (-A)$$

matriz que es solución de la ecuación

$$A + X = B.$$

Para las matrices se puede definir también un *producto* por números del cuerpo de definición, llamados, abreviadamente, *escalares*. Ello se hace del siguiente modo: a todo escalar α de \mathbb{K} y toda matriz A , de dimensiones $m \times n$ sobre \mathbb{K} , se le atribuye como producto y se escribe αA , otra matriz cuyos elementos son αa_{ij} .

Inmediatamente se comprueba que

$$\begin{aligned} (\alpha + \beta)A &= \alpha A + \beta A \\ \alpha(A + B) &= \alpha A + \alpha B \\ \alpha(\beta A) &= (\alpha\beta)A \\ 1A &= A \end{aligned}$$

para cualesquiera escalares α y β y matrices A y B .

Con la suma y el producto por escalares el conjunto de las matrices sobre \mathbb{K} de dimensiones $m \times n$ forman un espacio vectorial cuya dimensión es, precisamente, mn , ya que la matriz A de componentes a_{ij} puede escribirse como una combinación única de las mn matrices definidas por tener $mn - 1$ componentes nulas y una igual a la unidad. En particular queda ahora claro porque las matrices fila (dimensiones $1 \times n$) o las matrices columnas (dimensión $n \times 1$) pueden identificarse con el espacio vectorial \mathbb{K}^n .

La tercera operación que se define para las matrices es el llamado *producto*. Sean dos matrices sobre el mismo cuerpo; la primera A , de dimensiones $m \times n$, la segunda, B , de dimensiones $n \times p$; si las componentes son, respectivamente, a_{ij} y b_{rs} , se llama *producto* de ambas, y se escribe $C = AB$, a la nueva matriz, de dimensiones $m \times p$, cuyas componentes son:

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj} = a_{i1} b_{1j} + a_{i2} b_{2j} + \dots + a_{in} b_{nj}$$

En otros términos: a) para que se puedan multiplicar dos matrices es necesario que el número de columnas del primer factor coincida con el de filas del segundo; b) la matriz producto tiene tantas filas como el primer factor y tantas columnas como el segundo; y c) el elemento del producto c_{ij} se obtiene sumando algebraicamente los productos obtenidos al multiplicar elemento a elemento la fila i del primer factor por la columna j del segundo.

A primera vista este producto parece un tanto extravagante y sin justificación y a cualquier principiante se le ocurren otros más "lógicos". Sin embargo, hay razones profundas para usar el producto que se acaba de definir en vez de otros, la más fundamental de las cuales será puesta de manifiesto más adelante.

Veamos, antes de establecer las propiedades un ejemplo simple de producto de matrices. Sea:

$$C = AB = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 2 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -2 \\ -1 & 0 \\ 5 & -2 \end{bmatrix}$$

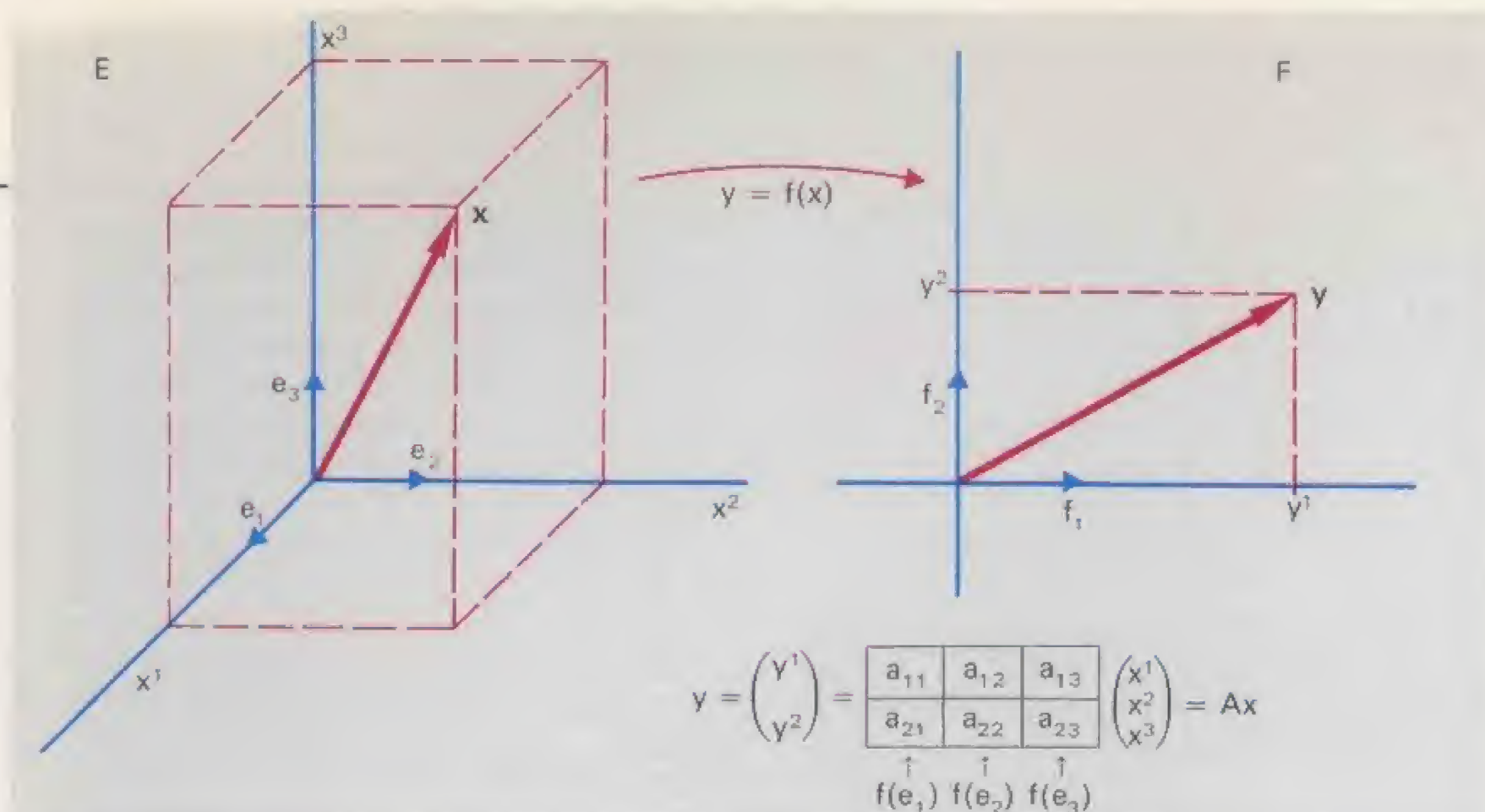
obtenido operando del siguiente modo:

$$\begin{aligned} c_{11} &= 1 \cdot 1 + 0 \cdot 2 + 2(-1) + (-1) \cdot 0 = -1 \\ c_{12} &= 1 \cdot (-1) + 0 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + (-1) \cdot 1 = -2 \end{aligned}$$

y así sucesivamente.

El producto de matrices, como puede probarse con un poco de cálculo algebraico, es asociativo, y distributivo respecto a la suma y compatible con el producto por escalares; es decir

$$\begin{aligned} (AB)C &= A(BC) \\ (A+B)C &= AC+BC \quad C(A+B) = CA+CB \\ (\alpha A)B &= \alpha(AB) \end{aligned}$$



En la ilustración se muestra cómo un operador lineal, que transforma un espacio vectorial en otro, puede representarse por una

matriz, cuyas dimensiones son las de los dos espacios (número de filas, la del espacio origen; y número de columnas,

la del espacio imagen) y tal que las columnas son las componentes (respecto a la base del segundo espacio) de los vectores

transformados de los elementos de la base del primer espacio.

para cualesquiera A, B y C matrices (con las dimensiones apropiadas) y α escalar.

Sin embargo el producto no es conmutativo; en primer lugar porque si A y B tienen dimensiones $m \times n$ y $n \times p$ respectivamente el producto AB es posible mientras que el BA no lo es, a no ser que

$$m = n = p.$$

En segundo lugar, porque en este caso los resultados, ambos posibles, no son, en general coincidentes.

En general, cuando m, n y p son diferentes el producto de matrices no es una operación interna. Sí lo es cuando se trata de matrices cuadradas. En este caso se tiene el siguiente resultado: el conjunto de las matrices cuadradas de orden n sobre \mathbb{K} es un anillo para la suma y el producto definidos en la forma que se ha hecho antes. Como acaba de verse, se trata de un anillo no conmutativo en el que, sin embargo pueden existir pares de matrices

que conmutan entre sí en el producto, a los que se llama *permutables*:

En dicho anillo existe una matriz I , tal que $IA = AI$ para toda A ; que es la que tiene sus componentes nulas, salvo las de la diagonal principal, que valen 1. Dicha matriz se denomina *unidad* o *identidad*.

Por último es evidente que en dicho anillo existen *divisores de cero*; es decir, pares de matrices no nulas tales que su producto lo es; por ejemplo

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Ello trae como consecuencia que, dada cualquier matriz cuadrada, pueda ser que la misma tenga inversa o no. Las primeras se llaman *invertibles*, *regulares* o *no singulares*, las segundas *singulares*.

En general la inversa de A , si existe, se escribe A^{-1} , y se cumple que

$$AA^{-1} = A^{-1}A = I.$$

La matriz

$$A = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

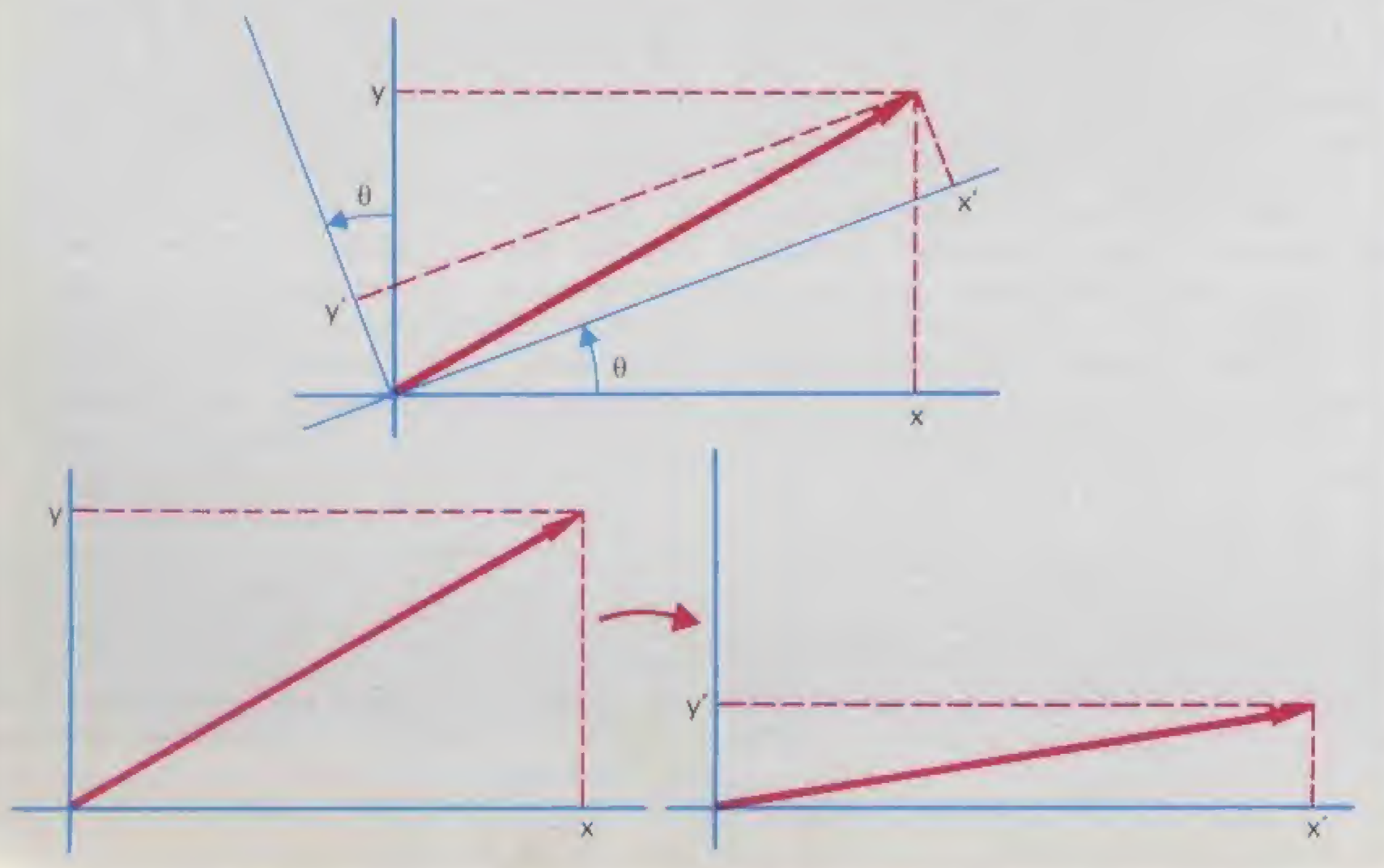
puede representar las dos situaciones diferentes que se muestran en las figuras. En la primera, en un

espacio fijo un vector dado tiene dos columnas de componentes distintas, cuando se le refiere a dos bases ortogonales distintas (la segunda, girada un ángulo θ respecto a la primera).

En la segunda, dos vectores diferentes (aunque de igual módulo) en dos espacios distintos (aunque isomorfos) se transforman uno en otro por aplicación del operador que

represente la citada matriz. En ambos casos la relación entre componentes es la misma:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}.$$



Por otra parte las matrices cuadradas de orden n sobre \mathbb{K} con la suma, el producto y el producto por escalares constituyen un *álgebra lineal asociativa* (es decir una estructura que es a la vez anillo y espacio vectorial y en la que el producto interno y el producto por escalares son compatibles).

Matrices, determinantes y sistemas lineales Como es sabido a una matriz cuadrada de orden n es posible asignarle un número llamado su *determinante* (suma algebraica de los $n!$ productos que se obtienen al multiplicar n elementos elegidos uno por cada fila y cada columna y afectados de signo positivo o negativo según que sean de igual o distinta paridad las permutaciones de filas y columnas). Es más; dada cualquier matriz, cuadrada o no, pueden asignársele diferentes determinantes tomando sólo los elementos de un número determinado de filas y columnas; es decir, los llamados *menores*. Por ejemplo si se tiene la matriz

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & 6 & -7 \end{bmatrix}$$

pueden formarse sus menores de primer orden (los propios elementos); y los tres de segundo siguientes:

$$\begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 6 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} 1 & 5 \\ 2 & -7 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} 3 & 5 \\ 6 & -7 \end{vmatrix}$$

Precisamente se llama *rango* o *característica* de la matriz al orden del determinante no nulo que lo tenga mayor (en el caso de la matriz anterior obviamente sería 2). En particular una matriz cuadrada de orden n tiene rango n si su determinante no es nulo. Del mismo puede darse otra definición, consecuencia del hecho de que un determinante es nulo si y sólo si existen combinaciones lineales entre sus filas (o entre sus columnas); la de número de filas (o columnas) de la matriz linealmente independientes.

Por otra parte dado un sistema lineal de m ecuaciones con n incógnitas (con éstas y los coeficientes elementos de \mathbb{K}) se pueden asociar al mismo dos matrices: la de coeficientes y la misma *ampliada* por la columna de términos independientes. Se prueba en la teoría de sistemas de ecuaciones lineales que tales sistemas son compatibles cuando los rangos de ambas matrices coinciden, y compatibles y determinados, cuando coinciden con el número de ecuaciones n (este resultado es el llamado teorema de Rouché-Fröbenius).

Resulta entonces que: si se tiene una matriz A cuadrada de orden n y rango n son compatibles y determinados los sistemas de la forma $Ax = b$, donde A es dicha matriz, x la columna de componentes las incógnitas x_1, x_2, \dots, x_n y b una columna de datos b_1, b_2, \dots, b_n . En particular, si como b se eligiesen sucesivamente las columnas

$$u_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad u_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots \quad u_n = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

los n sistemas resultantes tendrían como soluciones n columnas que dispuestas como una matriz cuadrada X conducirían a escribir que: $AX = I$. Lo que quiere decir que dicha matriz X es A^{-1} es la inversa de A . Recíprocamente, si se conociese A^{-1} la solución del sistema $Ax = b$ sería $x = A^{-1}b$ como se prueba sin más que premultiplicar ambos miembros de la igualdad $Ax = b$ por A^{-1} .

Resulta pues que, conocida A^{-1} pueden resolverse los sistemas lineales cuya matriz es A por una multiplicación matricial y, recíprocamente, si se saben resolver los n sistemas con segundos miembros u_i ($i = 1, \dots, n$) se tiene A^{-1} . Por otra parte, resulta que el ser una matriz no singular equivale a tener rango n , es decir, a no anularse su determinante.

El problema práctico de calcular A^{-1} , o el equivalente de resolver los n sistemas $Ax = b$, cuando b toma los valores u_i , es un problema de cálculo numérico cuya dificultad crece cuando lo hace n (hoy soluble para valores elevados de n gracias a los avanzados algoritmos del Análisis Numérico y la disponibilidad de grandes ordenadores). De antiguo se han dado, sin embargo, fórmulas de interés más bien teórico a base de determinantes. La más clara y general es la de Cramer: si el sistema es $Ax = b$ la solución es $x_i = \Delta_i / \Delta$, donde Δ es el determinante de la matriz A y Δ_i el que resulta al sustituir en el anterior la columna i ésima por b . En otros términos ello equivale a que la inversa de A , A^{-1} , sea, como se definió antes:

$$A^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \alpha_{n1} & \dots & \alpha_{nn} \end{bmatrix}$$

en la que Δ tiene el significado ya dicho y $\alpha_{ij} = A_{ji}$, siendo A_{ji} el determinante adjunto en A del elemento a_{ji} (es decir, el determinante que se forma cuando se suprimen la fila j y la columna i multiplicado por $(-1)^{i+j}$).

Matrices y operadores lineales Si E es un espacio vectorial n -dimensional sobre el cuerpo y existe en él una base (e_1, e_2, \dots, e_n) es sabido que a cada vector de x puede atribuirse de modo único n elementos de \mathbb{K} (x^1, x^2, \dots, x^n) que son sus *componentes* (llamadas *contravariantes*) de modo que:

$$x = x^1 e_1 + x^2 e_2 + \dots + x^n e_n$$

Ello permite establecer un *isomorfismo* entre E y \mathbb{K}^n (es decir: una *aplicación lineal biyectiva*); dicho isomorfismo es, sencillamente, el que hace corresponder a cada vector la n -tupla de sus componentes (dispuestas, por ejemplo, como columna).

Por otra parte, si se tienen dos espacios vectoriales E y F , isomorfos respectivamente de \mathbb{K}^n y \mathbb{K}^m y es f una *aplicación lineal, homomorfismo* o, como se dice frecuentemente, un *operador lineal* de E en F , cabe preguntarse: ¿Qué operaciones algebraicas habrá que hacer con las componentes de x de E , que forma una columna de \mathbb{K}^n , para obtener las de $f(x) = y$ de

F , columna de \mathbb{K}^m ? La respuesta es bien sencilla: sean (e_1, e_2, \dots, e_n) y (f_1, f_2, \dots, f_m) las bases en E y F respectivamente, por la linealidad de f se tendrá que

$$y = \sum_{i=1}^m y^i f_i \quad x = \sum_{j=1}^n x^j e_j$$

$$\sum_{i=1}^m y^i f_i = f\left(\sum_{j=1}^n x^j e_j\right) = \sum_{j=1}^n x^j f(e_j)$$

Resulta pues que basta conocer los n vectores $f(e_j)$, transformados en F de los de la base de E , para tener resuelto el problema. Si llamamos entonces:

$$f(e_j) = \sum_{i=1}^m a_{ij} f_i$$

donde los m elementos de \mathbb{K} , a_{1j}, \dots, a_{mj} son los componentes del vector de F homólogo del e_j .

Se tiene en definitiva:

$$\sum_{i=1}^m y^i f_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x^j f_i$$

o, reduciendo a las m ecuaciones, entre componentes:

$$y^i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x^j \quad i = 1, \dots, m$$

que, matricialmente, puede escribirse como $y = Ax$ habiendo adoptado el convenio de que x e y denotan tanto los vectores de E y F , respectivamente, como sus columnas de componentes, y llamando A a la matriz de m filas (la dimensión de F) y n columnas (la dimensión de E) y tal que su columna j la forman las componentes del vector transformado del e_j .

Queda así patente la relación existente entre matrices de dimensiones $m \times n$ sobre \mathbb{K} y operadores lineales del espacio vectorial E en el F , o, si se prefiere, de \mathbb{K}^m en \mathbb{K}^n . Inmediatamente se comprueba además la correspondencia entre el producto matricial, tal como se ha definido inicialmente, y el producto de aplicaciones u operadores lineales, en el sentido usual de función producto o compuesta.

En efecto: sean E, F y G tres espacios isomorfos de $\mathbb{K}^n, \mathbb{K}^m$ y \mathbb{K}^p ; sean f y g dos operadores lineales que transforman respectivamente E en F y F en G , y cuyas matrices representativas son, respectivamente, A y B ; entonces el operador producto tiene por matriz representativa BA . Ya que $z = g(y)$ se transforma en la relación entre columnas de componentes $z = B y = BA x$.

Los anteriores resultados ponen de manifiesto la razón básica para definir como se hace el producto matricial y explican la utilización que en múltiples teorías y problemas del cálculo matricial; el motivo no es otro que el de ser las matrices representativas de las transformaciones lineales entre espacios vectoriales, al igual que las filas o columnas de escalares representan los propios vectores. Por otra parte, lo mismo que los operadores lineales, las matrices pueden prestarse a diferentes interpretaciones "geométricas" o "físicas". En efecto; la más obvia es la de que si se tienen dos espacios distintos, con sus respectivas bases, cada vector —o la columna de sus componentes— del

primero se transforma en otro del segundo —o en su columna de componentes—. Pero, obviamente, caben otras posibilidades; por ejemplo: sea el espacio E con una base y sea F el mismo E con otra base, entonces existen dos aplicaciones de E en \mathbb{K}^n ; en la primera a x le corresponden las componentes (x^1, \dots, x^n) , en la segunda las (v^1, \dots, v^n) ; se ha establecido así una aplicación, obviamente lineal, de \mathbb{K}^n en \mathbb{K}^n ; es más, se trata de un isomorfismo, ya que la aplicación tiene que ser biyectiva. Por lo tanto, existirá una matriz cuadrada que la represente, que será la llamada de *cambio de base*, que podrá ponerse: $v = A x$. Además, se tendrá que $x = A^{-1} v$, donde A es la matriz cuadrada de orden n , cuyas columnas son las de las componentes de los vectores de la base inicial respecto a la segunda y A^{-1} es, o bien la matriz inversa, por ser $x = A^{-1} v$ la solución del sistema (que debe ser compatible y determinado) $Ax = v$, o, si se quiere, la matriz correspondiente a la aplicación lineal inversa o, también la matriz cuadrada cuyas columnas son las de componentes de los vectores de la segunda base respecto a la primera.

Es interesante señalar que cuando se trata de espacios isomorfos a \mathbb{R}^n y se usan bases ortonormales las matrices son *ortogonales* y se tiene $A^{-1} = A'$. Por ejemplo en \mathbb{R}^2 cuando se cambia de una base ortogonal a otra girando un ángulo θ se tiene que el cambio de coordenadas viene dado por

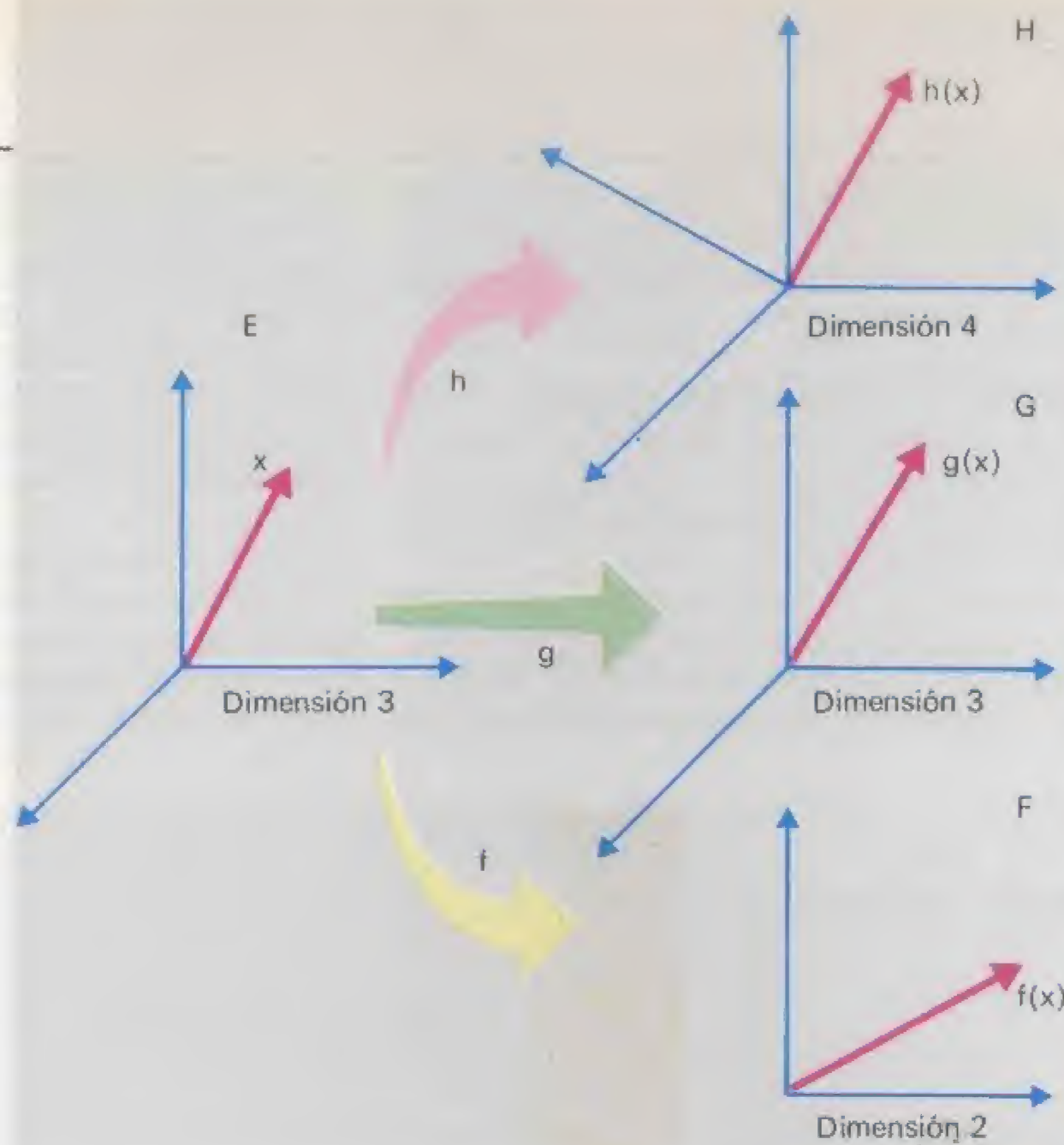
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix};$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}$$

(x e y componentes en la primera base, x' e y' en la girada un ángulo θ). Cuando se trata de \mathbb{C}^n y las bases son hermiticas entonces las matrices son *unitarias*.

En el supuesto anterior ha aparecido la matriz inversa como representativa del operador inverso. Tal planteamiento es general; si un operador es un isomorfismo, y sólo en tal caso, existe su inverso, que es también lineal. Es necesario, para que tal ocurra, que E y F sean isomorfos de un mismo espacio \mathbb{K}^n , y, por ello, isomorfos entre sí; por lo tanto, a los efectos de la matriz representativa el problema es idéntico al del caso particular del cambio de base. Se demuestra en Álgebra lineal que para que una aplicación lineal de E en E (o de \mathbb{K}^n en \mathbb{K}^n) sea un isomorfismo es preciso que su núcleo se reduzca al vector nulo y su imagen sea el propio espacio. (Se recuerda que el *núcleo* de un operador lineal es el subespacio original que se transforma en el vector cero y su *imagen* el subespacio transformado de todo el espacio). Puede entonces verse que son equivalentes las siguientes condiciones: a) El operador lineal es un *isomorfismo*. b) La matriz es *invertible*. c) El determinante de la matriz es no nulo. d) El rango del operador es igual a la dimensión del espacio (el *rango* del operador es la

Si un cierto espacio se transforma en otros diferentes por la acción de operadores lineales distintos, éstos estarán representados por matrices con el mismo número de filas que la dimensión del espacio origen y cuyos números de columnas coinciden, respectivamente, con los de los espacios imágenes. Sin embargo, el rango depende del número de columnas linealmente independiente que, a su vez, es la dimensión del espacio origen menos la del núcleo (o subespacio original que se transforma en el cero del imagen). En los dos primeros casos, el rango es 3; y en el tercero, 2.



dimensión de su *imagen* y coincide con el *rango* de la matriz). e) El *núcleo* del operador se reduce al vector *nulo*.

En general el transformado de \mathbf{x} por A es otro vector \mathbf{y} . ¿Habrá algún caso en que \mathbf{y} coincida, al menos en dirección, con \mathbf{x} ? Ello será así si existe algún $\lambda \in \mathbb{K}$ tal que $A\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x}$, para algún \mathbf{x} . Es decir, si el sistema homogéneo: $(A - \lambda I)\mathbf{x} = 0$ tiene solución distinta de la nula. Para ello hace falta que $A - \lambda I$ no sea un isomorfismo (en cuyo caso sólo $\mathbf{x} = 0$ se transformaría en 0), lo que es equivalente, a que la matriz sea singular, es decir: $\det(A - \lambda I) = 0$ (resultado al que también se hubiera llegado usando la teoría clásica de sistemas lineales).

Se comprueba inmediatamente que $\det(A - \lambda I) = 0$ es un polinomio de grado n en λ , que la ecuación $\det(A - \lambda I) = 0$, llamada ecuación característica de la matriz (y del operador lineal) tiene, en general, n soluciones (distintas o no). Cada una de ellas puede sustituirse en $(A - \lambda I)\mathbf{x} = 0$ y obtener seguidamente una columna \mathbf{x} que es un vector (mejor dicho un subespacio de, al menos, dimensión uno) para el que se cumple que su transformado coincide con él, salvo el factor λ . Precisamente a tales λ se les llama valores propios o *autovalores* y a tales \mathbf{x} vectores propios o *autovectores*.

Existen casos (matrices con todos los autovalores distintos, matrices reales si-

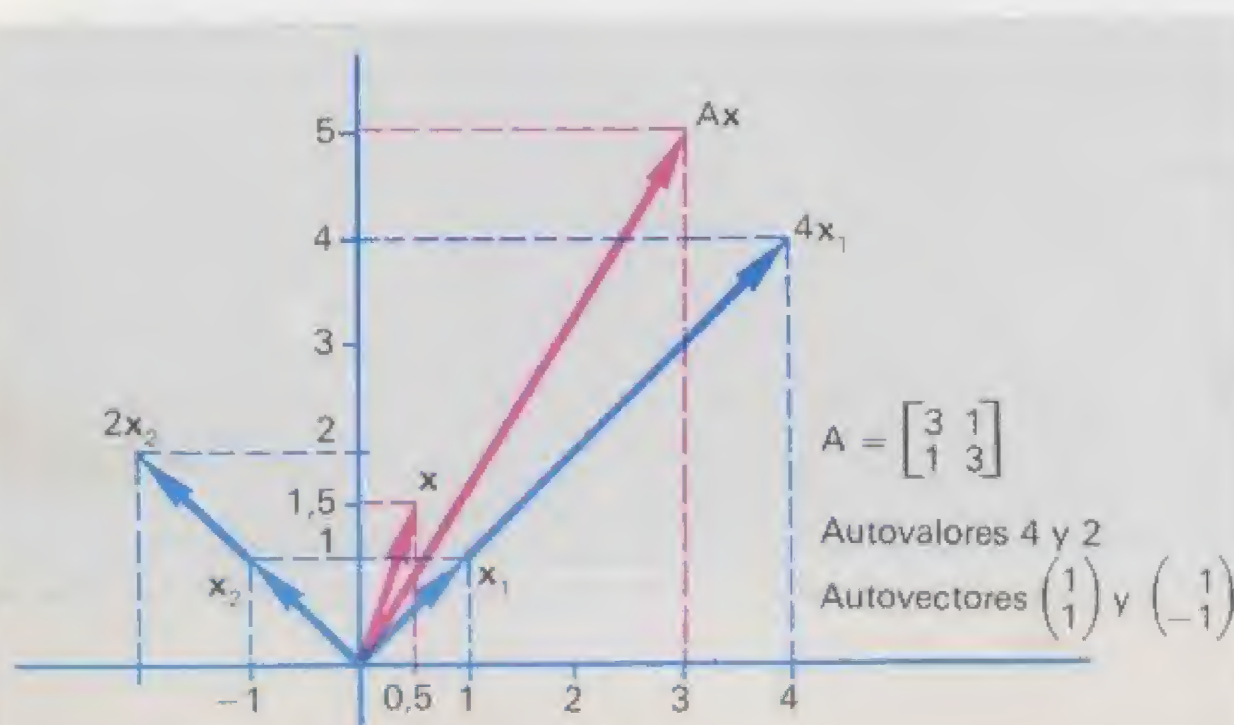
métricas, matrices complejas hermiticas, etc.) en los que los autovectores forman una base. En tales casos el operador se llama *diagonalizable* y puede ser representado, cuando se refiere el espacio a dicha base, por la matriz diagonal de los autovalores. En general no se puede conseguir un resultado tan sencillo, aunque sí otros parecidos. En muchos problemas geométricos y físicos el papel de los autovalores y autovectores es esencial ya que ellos representan del modo más simple cual es el "efecto" que produce el operador o matriz. En general se dice que dos matrices cuadradas A y B son semejantes cuando se puede poner que $B = P A P^{-1}$ para alguna P matriz cuadrada no singular (que puede por tanto significar, por ejemplo, un cambio de base). Es fácil ver que, precisamente, esa es la relación entre dos matrices que representan una misma aplicación lineal cuando se ha hecho un cambio de base. En efecto; sea una aplicación lineal de E en E que, cuando se usa una determinada base, queda representada por la ecuación matricial $\mathbf{y} = A\mathbf{x}$; si se cambia de base de modo que llamamos X e Y a las nuevas columnas de coordenadas y P a la matriz de paso de las anteriores a estas se tendrá que

$$\mathbf{X} = P\mathbf{x} \quad \mathbf{Y} = P\mathbf{y} \quad \mathbf{x} = P^{-1}\mathbf{X} \quad \mathbf{y} = P^{-1}\mathbf{Y}$$

y, consecuentemente:

$$\mathbf{Y} = P\mathbf{y} = PA\mathbf{x} = PAP^{-1}\mathbf{X} = B\mathbf{X}$$

En general, un vector cualquiera se transforma, mediante el operador A , en otro diferente; por ejemplo, el vector de componentes 0,5 y 1,5 se transforma en el que tiene las 3 y 5. Por el contrario, los autovectores se transforman en vectores de la misma dirección, aunque multiplicados por los respectivos autovalores.



Es decir, la matriz $B = P A P^{-1}$ representa la misma aplicación lineal que la A respecto a la nueva base.

Es fácil ver que la relación "ser semejantes" entre matrices es una equivalencia y que dos matrices semejantes conservan los mismos autovalores. Precisamente el problema de hallar la forma *canónica* de la matriz es el de conseguir la más sencilla entre las semejantes. Cuando las matrices son diagonalizables la forma canónica es la matriz diagonal de los autovalores y se obtiene utilizando como base los autovectores.

Las matrices también pueden servir para representar formas *bilineales* y *cua-dráticas*. En efecto si $f(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ es *bilineal*, es decir *lineal* en \mathbf{x} cuando \mathbf{y} es constante y viceversa, es fácil ver que cuando \mathbf{x} e \mathbf{y} se dan por sus columnas de componentes se tiene que

$$f(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum a_{ij}x_iy_j = \mathbf{x}'A\mathbf{y}$$

donde a_{ij} es la matriz de coeficientes \mathbf{x}' la fila transpuesta de la columna de componentes x_i e \mathbf{y} la columna de los componentes y_i .

Si se quiere representar una forma cuadrática suele utilizarse una matriz simétrica, es decir una matriz tal que $a_{ij} = a_{ji}$ de modo que

$$\sum a_{ij}x_ix_j = a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + \dots + a_{nn}x_n^2 = \mathbf{x}'A\mathbf{x}$$

Notas complementarias Además del Algebra cabe estudiar el Análisis matricial. Para ello se dota al conjunto de las matrices de una estructura topológica; la más sencilla es la de espacio vectorial normado análogo a \mathbb{R}^n y, por tanto, en el que las propiedades de continuidad, convergencia, derivabilidad, etc. se reducen a las de sus componentes.

En cuanto a las aplicaciones conviene insistir en las grandes posibilidades que ofrecen las matrices (sobre todo desde que el Análisis Numérico y la Informática han hecho posible su uso práctico). No hay ningún misterio en ello; aunque, cuando se definen de un modo directo, parece que se trata simplemente de tablas rectangulares de números dotadas con unas operaciones caprichosas, resulta que éstas tienen una significación interesante; así, sin salirnos del marco elemental determinado por las ideas precedentes, resulta que una matriz puede representar una aplicación lineal y, precisamente, son aplicaciones lineales con lo que físicos, ingenieros, economistas y, en general, científicos y técnicos de todo tipo suelen tratar, ya que la mayoría de las teorías científicas se basan en hipótesis lineales y muchas de las que no lo hacen en principio son luego objeto de aproximaciones lineales.

Véase **Determinantes; Ecuaciones y sistemas lineales; Espacio euclídeo; Espacios vectoriales y afines; Formas cuadráticas, cónicas y cuádricas**

Mecánica

Los fundamentos de la Mecánica clásica pueden datar del siglo III a. de C., cuando el sabio griego Arquímedes dedujo algunas fórmulas para describir las condiciones del equilibrio de las palancas e introdujo el concepto básico de *centro de gravedad* o *baricentro*. Pero fue con los trabajos de Galileo, y más tarde de Newton, cuando esta rama de la Física comenzó a tomar forma. La Mecánica clásica (llamada también *Mecánica newtoniana*) se sigue utilizando para estudiar las interacciones de los cuerpos de dimensiones relativamente grandes (mayores que el átomo)

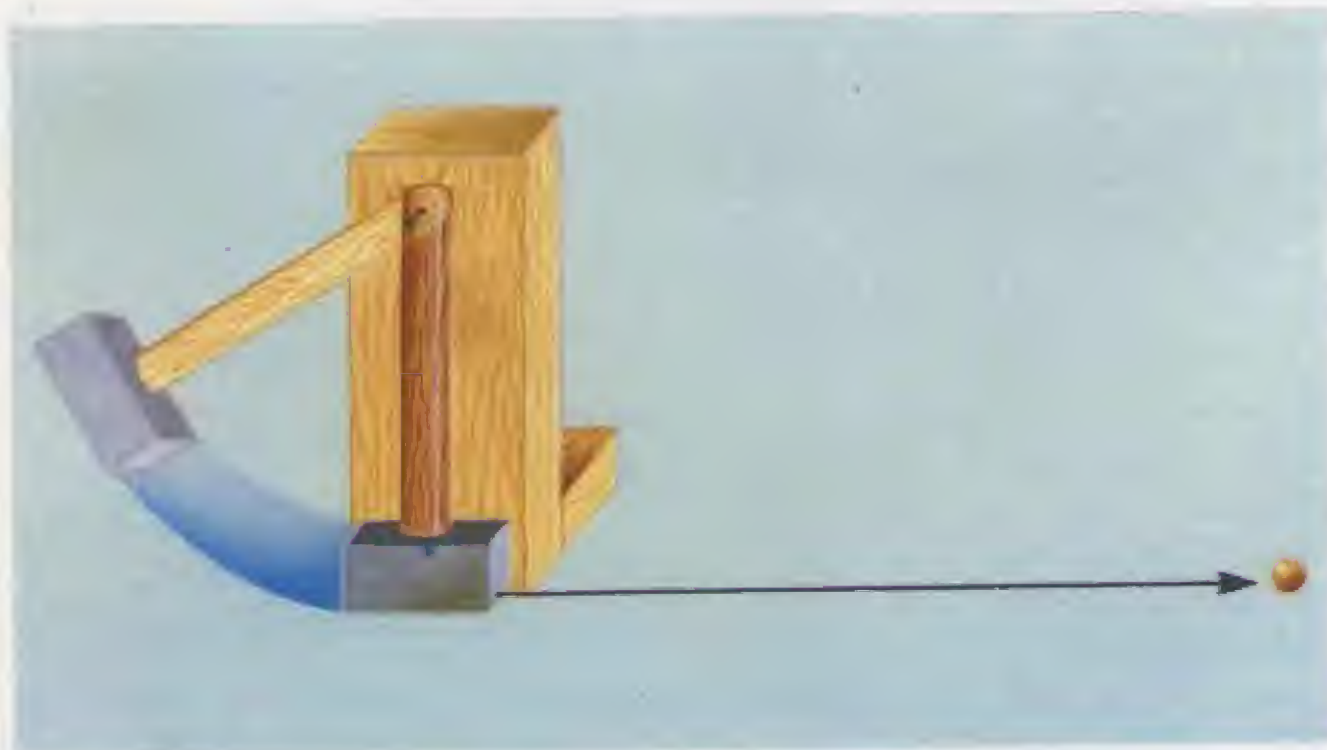
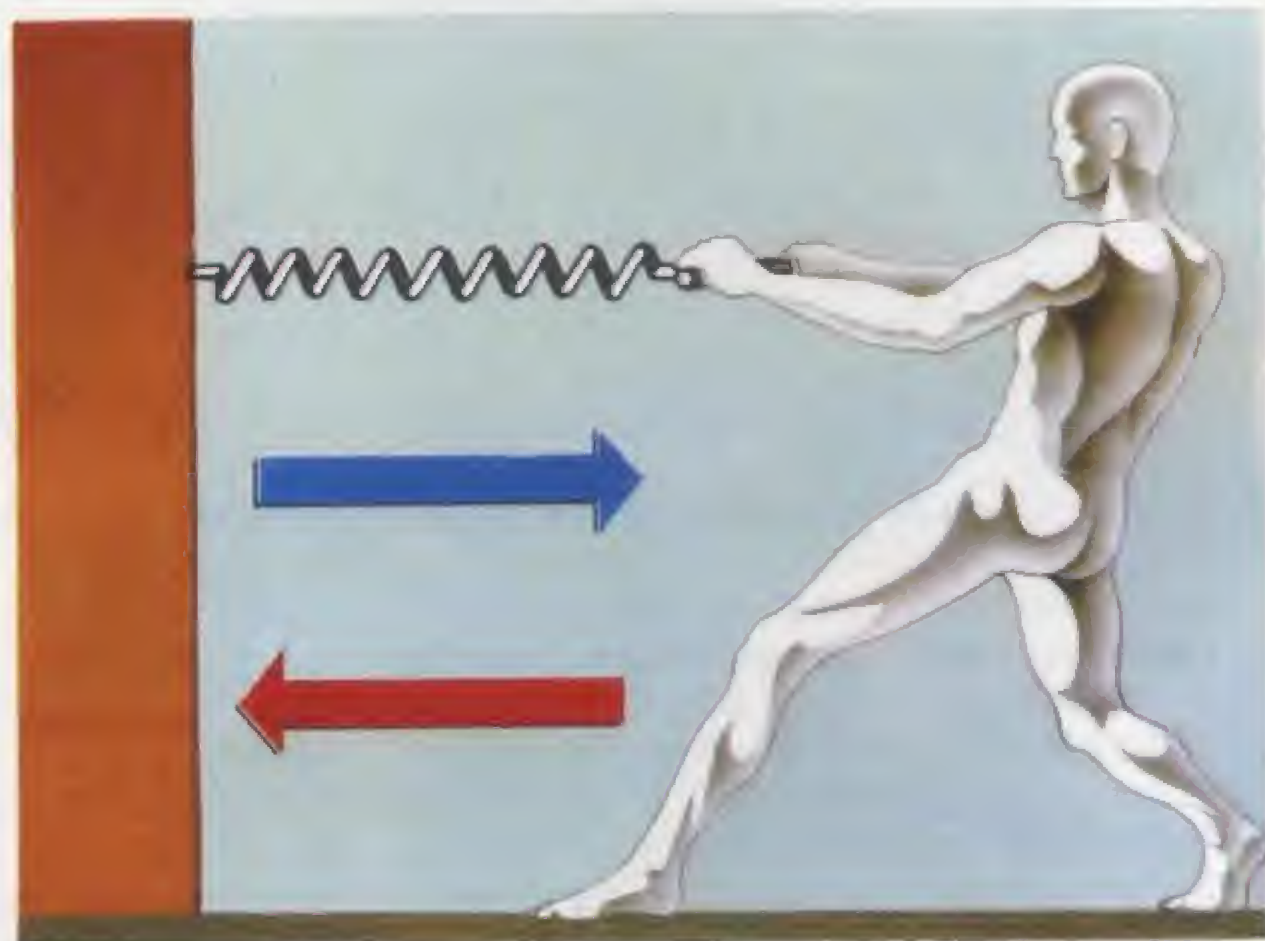
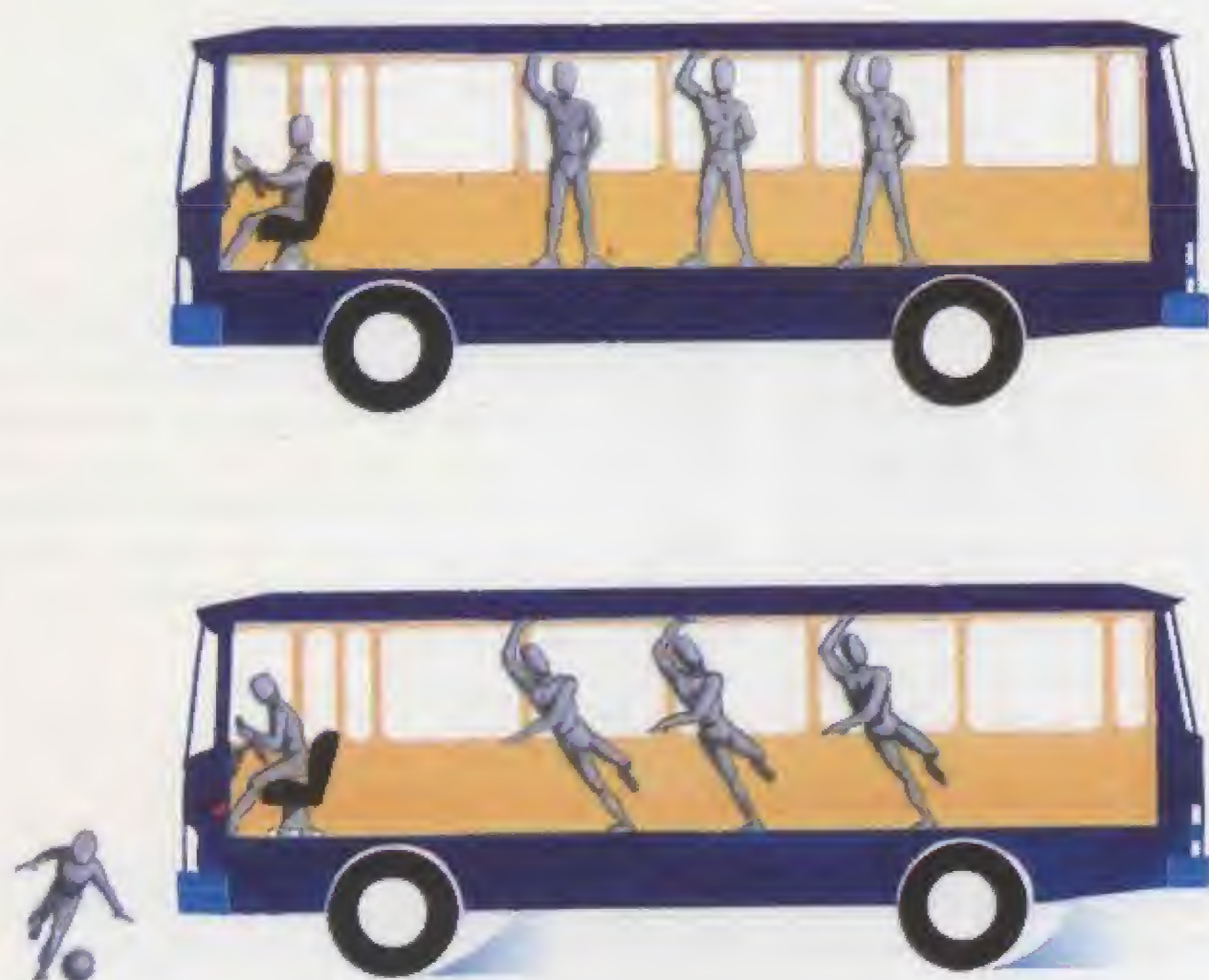
en movimiento a bajas velocidades respecto a la velocidad de la luz. En la base de la Mecánica clásica están las leyes de Newton.

Leyes de la Mecánica de Newton Las leyes de Newton nos presentan las relaciones entre cuerpos en reposo y en movimiento, en términos de masa, velocidad, aceleración y fuerza.

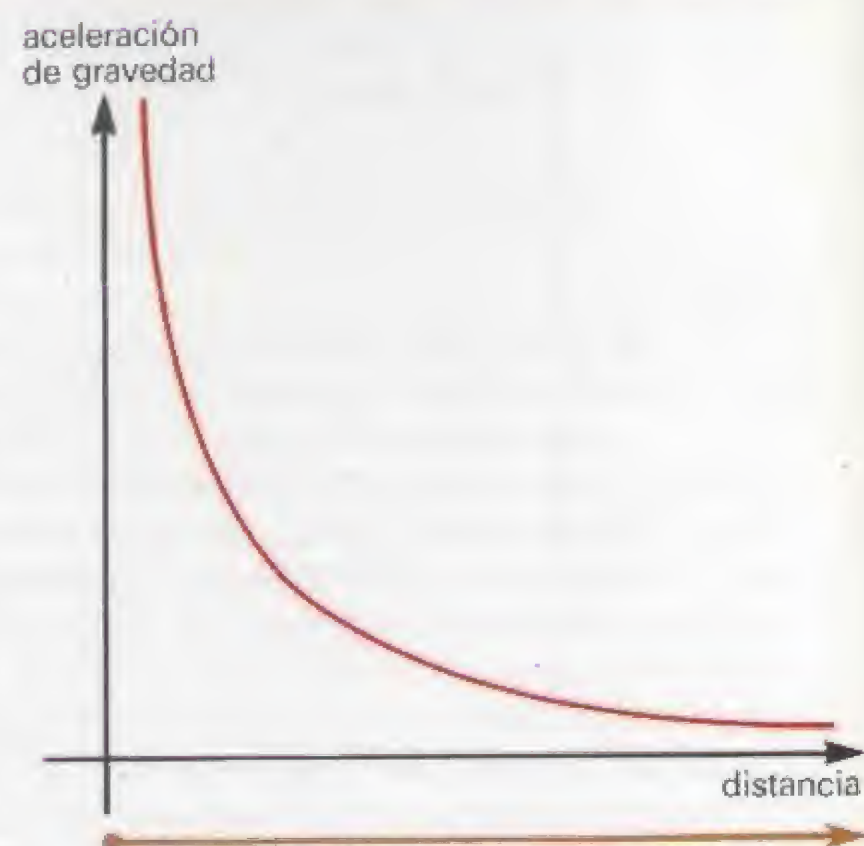
Primera ley. Esta ley es conocida como *ley de inercia* y afirma que todos los cuerpos tienen una masa inercial que mantiene al objeto en el mismo estado en que

se encuentra (de reposo o de movimiento constante) si sobre él no actúan fuerzas exteriores. Si el cuerpo está en reposo, seguirá en reposo, y si está en movimiento con velocidad constante, seguirá moviéndose en la misma dirección con la misma velocidad, a no ser que una fuerza externa lo acelere, lo frene o lo desvíe de su trayectoria.

Segunda ley. La aplicación de una fuerza cualquiera a un cuerpo en reposo o en movimiento produce una aceleración de dicho cuerpo. La aceleración resulta directamente proporcional a la intensidad



A la izquierda, arriba, la primera ley o ley de inercia. En el interior de un vehículo en movimiento a velocidad constante se puede permanecer de pie como si se estuviera apoyado en el suelo. Si el vehículo experimenta una brusca variación de velocidad (frenazo), los pasajeros tienden a oponerse por inercia al movimiento, y, por lo tanto, son aparentemente lanzados hacia delante. Abajo, segunda ley, que nos muestra la correlación entre fuerza, masa y aceleración. Suministrando la misma fuerza aplicada instantáneamente a cuerpos de masa diferente, se podrá observar que el cuerpo de masa menor sufrirá una aceleración mayor. Arriba, tercera ley o ley de acción y reacción. Aplicando una tracción a la pared a través de un muelle, éste ejercerá la misma tracción sobre quien sujeta el muelle. A la derecha, arriba, diagrama que muestra la variación de la fuerza gravitacional en función de la distancia para un cuerpo



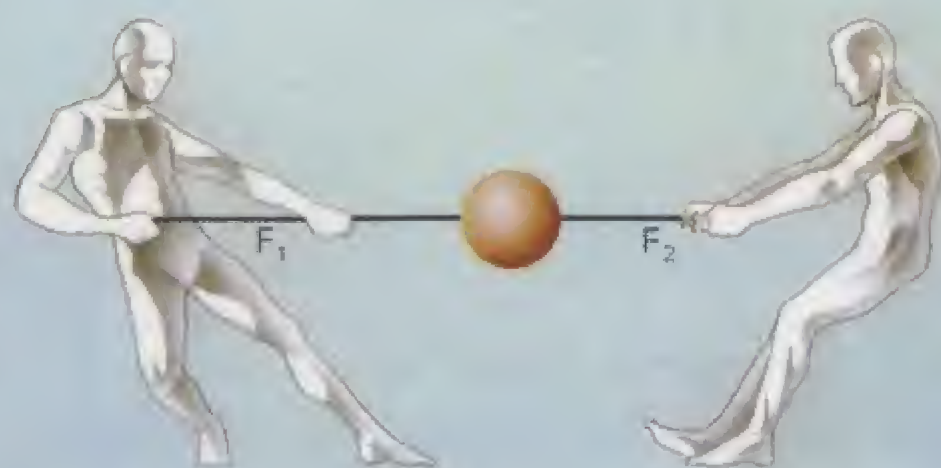
puntual. En el diagrama inferior se muestra dicha variación para un cuerpo esférico, en el que la fuerza de gravedad se anula en el centro.

de esta fuerza e inversamente proporcional a la masa del cuerpo. Así, para acelerar un cuerpo de masa pequeña se necesita una fuerza menor que la necesaria para acelerar en el mismo grado un cuerpo de gran masa. La *aceleración* se define como la variación de velocidad —bien en su valor o en su dirección— que se produce en un determinado tiempo.

Tercera ley. A toda acción le corresponde una reacción igual y de sentido contrario. Esto significa que si se empuja una mesa, se podría decir que ésta empuja en sentido contrario a quien está aplicando la

A la derecha, esquematizaciones de los conceptos de aceleración centripeta y fuerza centrífuga. La aceleración centripeta es la que hace curvar la trayectoria de un cuerpo en movimiento y se dirige hacia el centro. El cuerpo por inercia tiene tendencia a no alterar su propia trayectoria y, si tiene masa, manifiesta una fuerza que se opone a la aceleración centripeta. Esto puede

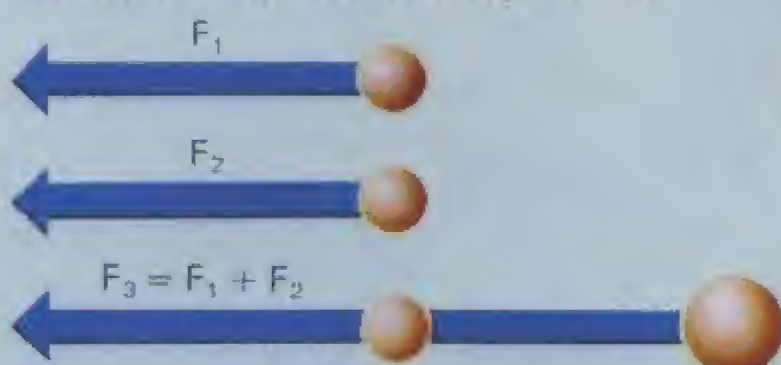
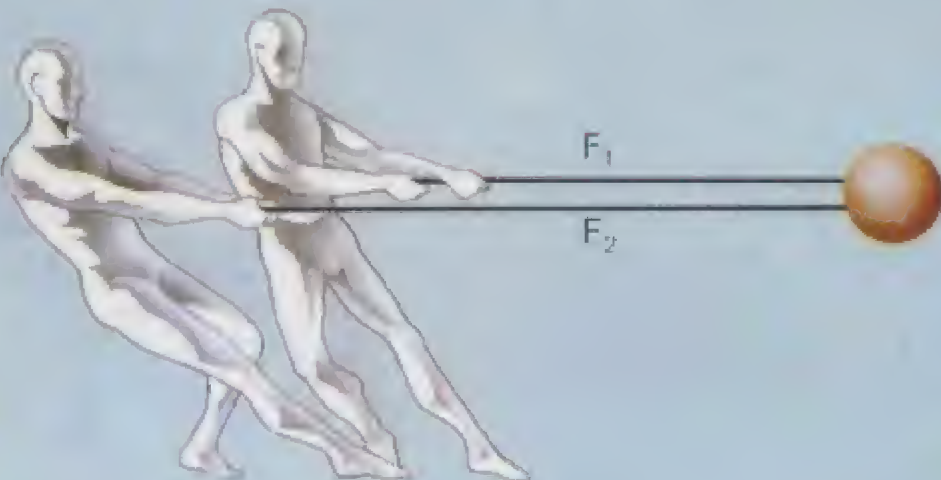
verificarse cuando, al cesar la aceleración centripeta, el cuerpo sigue una trayectoria que se aleja tangencialmente de la curvatura impuesta. En la práctica, si se hace girar una esfera pesada atada a un hilo, el hilo la somete a una aceleración centripeta que se manifiesta como fuerza centrífuga en la esfera y como fuerza centrípeta en los dedos de la mano con que se sujeta.



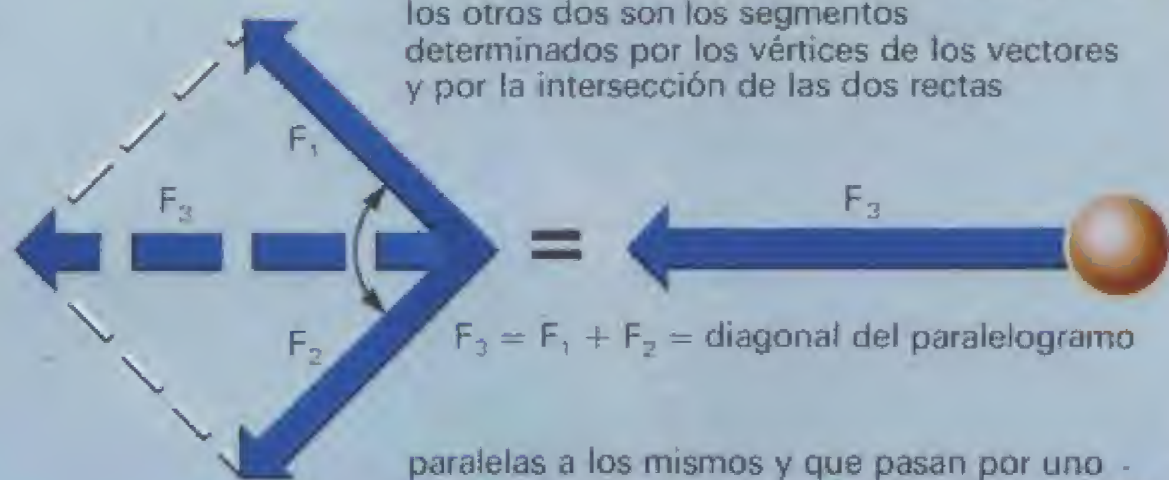
La fuerza es un ente físico determinado por una intensidad, una dirección y un sentido: es, por lo tanto, un vector. Dos fuerzas iguales y contrarias se anulan y el cuerpo rígido en el que estaban aplicadas permanece en equilibrio estático. Dos fuerzas que tengan la misma dirección y sentido se suman dando una fuerza que tiene la misma dirección y sentido y, como intensidad, la suma de las



intensidades de las dos. Si dos fuerzas tienen el mismo punto de aplicación pero dos direcciones distintas, dan lugar a una fuerza cuya dirección, sentido e intensidad vienen dados por la regla del paralelogramo. Se

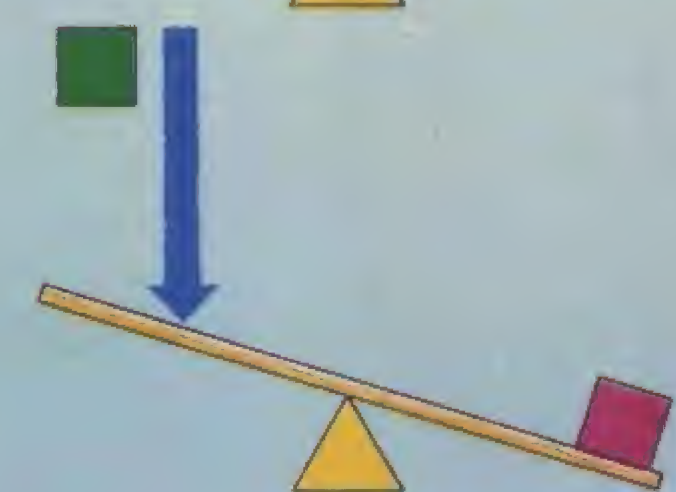
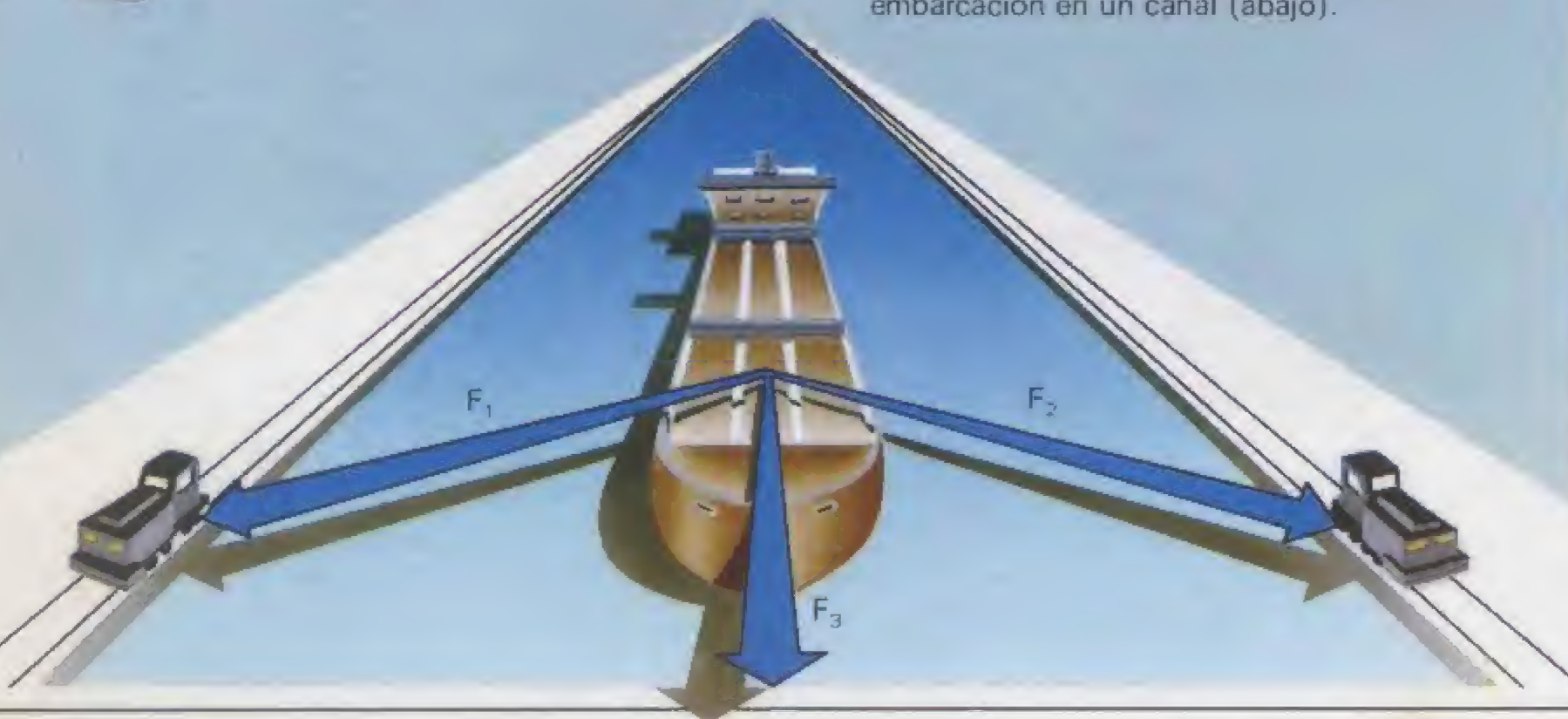


construye un paralelogramo que tenga las dos fuerzas como lados consecutivos, mientras que los otros dos son los segmentos determinados por los vértices de los vectores y por la intersección de las dos rectas



$$F_3 = F_1 + F_2 = \text{diagonal del paralelogramo}$$

paralelas a los mismos y que pasan por uno de los vértices de los dos vectores. Un ejemplo de aplicación de esta regla se tiene en el arrastre por medios mecánicos de una embarcación en un canal (abajo).



La energía potencial y la energía cinética son formas energéticas que pueden transformarse recíprocamente. Un cuerpo que se deja caer transforma su propia energía potencial en energía cinética, que puede ser suministrada a otro cuerpo.

fuerza, ya que ejerce una *fuerza inercial* que se opone a la *fuerza aplicada*.

Fuerza El concepto de *fuerza* es fundamental en las tres leyes de Newton. Pero ¿qué es una fuerza? Una manera de definirla es a través del efecto que produce: fuerza es aquello que aplicado a un cuerpo es capaz de provocar un cambio en su movimiento. Newton demostró que su valor viene dado por el producto de la masa por la aceleración ($F = m \cdot a$), definición de gran utilidad en cualquier cálculo matemático para valorar su intensidad. En la vida diaria, las fuerzas con las que nos encontramos pueden derivar de acciones simples, como el tirar o el empujar, o de acontecimientos como un ráfaga de viento. Una fuerza siempre presente en la Mecánica clásica es la fuerza producida por la gravedad, que es la atracción ejercida por los cuerpos, unos sobre otros. La fuerza gravitacional más intensa que somos capaces de experimentar diariamente es la que la Tierra ejerce sobre las personas y los objetos de su superficie. Comúnmente esta fuerza es llamada *peso*, concepto que no debe ser confundido con masa

(una misma masa posee pesos diferentes en diversos planetas). Las fuerzas gravitacionales de cuerpos pequeños, como por ejemplo bolas de billar, son despreciables, pero el sistema planetario solar es mantenido en equilibrio únicamente por efecto de las atracciones gravitacionales entre Sol, planetas, satélites y cometas.

Sistema de referencia La definición de un sistema de referencia es fundamental en todas las formas de investigación científica, ya que dicho sistema está en relación directa con la medida de todas las magnitudes mencionadas anteriormente. Por ejemplo, el movimiento relativo de un tren parecerá diferente si lo consideramos visto desde un punto de la tierra o desde el mismo tren. Es importante saber dónde se encuentra el observador. Los desarrollos científicos y tecnológicos del siglo XX han conducido a sectores de la Física en los que los sistemas de referencia son fundamentalmente distintos de los considerados por la Mecánica newtoniana. Así, la Mecánica cuántica, que se ocupa particularmente de las interacciones entre corpúsculos como los átomos, y la

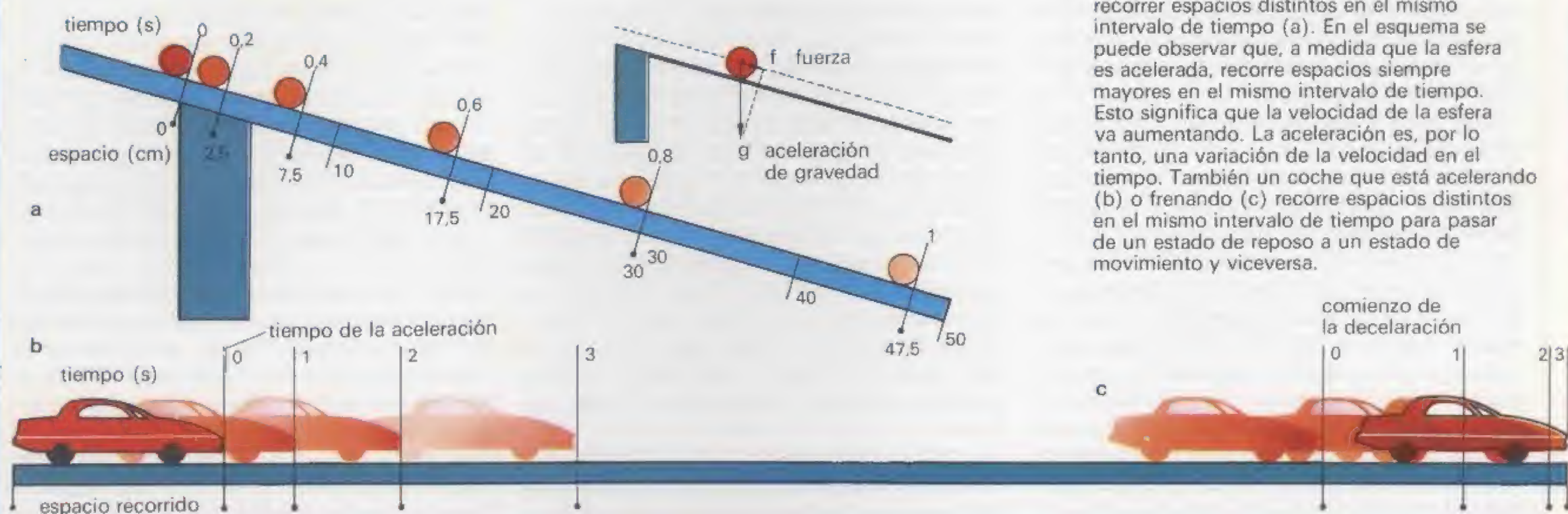
Mecánica relativista, que estudia el comportamiento de la materia cuando se mueve a velocidades próximas a la de la luz, contemplan el Universo desde puntos de vista no accesibles para Newton. El desarrollo de estos sectores de la Física muestra que los resultados de la Mecánica clásica no son rigurosamente correctos, sino sólo aproximados. Algunos fenómenos comunes que siguen siendo tratados en el ámbito de la Mecánica clásica son, por ejemplo, el movimiento de los automóviles en una carretera, la trayectoria de las balas disparadas por los fusiles y el comportamiento de un balón chutado durante un partido de fútbol.

Estática y Dinámica Para todos los fines prácticos y modernos, la Física clásica puede ser dividida en Estática, que se ocupa del análisis de las fuerzas que actúan sobre un sistema en reposo, y Dinámica, que se ocupa de las fuerzas que actúan sobre cuerpos en movimiento.

Un simple ejemplo de sistema estático está constituido por un libro apoyado sobre una mesa. En este sistema no hay ningún objeto en movimiento; el libro ejerce



También en los juegos y en las diversiones es posible captar las leyes fundamentales de la Mecánica. En el caso del tiovivo, cuando se pone en marcha, los asientos son proyectados hacia el exterior siguiendo la trayectoria circular que les viene impuesta por las cadenas de sujeción. Quien está sentado en el asiento sufre una aceleración centrípeta y, al estar dotado de una masa, es sometido a la fuerza centrífuga que se manifiesta a través de las cadenas que tiran hacia dentro de la trayectoria curva seguida. Pero las cadenas están sometidas también a la acción de la fuerza centrífuga que se manifiesta, ya que el asiento y quien esté sentado en él están dotados de masa.



La segunda ley de Newton liga la aceleración a la fuerza a través de la masa. Experimentalmente esta ley puede ser reproducida utilizando un plano inclinado y una esfera pesada. La componente del peso paralela al plano somete a la esfera a una aceleración, representada en el hecho de recorrer espacios distintos en el mismo intervalo de tiempo (a). En el esquema se puede observar que, a medida que la esfera es acelerada, recorre espacios siempre mayores en el mismo intervalo de tiempo. Esto significa que la velocidad de la esfera va aumentando. La aceleración es, por lo tanto, una variación de la velocidad en el tiempo. También un coche que está acelerando (b) o frenando (c) recorre espacios distintos en el mismo intervalo de tiempo para pasar de un estado de reposo a un estado de movimiento y viceversa.

una fuerza (igual a su peso) sobre la mesa y, como dice la tercera ley de Newton, la mesa ejerce una fuerza de reacción sobre el libro. Estas fuerzas se contraponen entre sí, anulándose una a la otra. De este modo la suma de las fuerzas es cero y el sistema en reposo es, por tanto, llamado *sistema estático*. Los ingenieros trabajan diariamente con sistemas estáticos más complejos, al proyectar estructuras que forman el armazón de edificios y puentes.

Existen también numerosos ejemplos de sistemas dinámicos, en algunos de los cuales es posible observar acciones de las fuerzas gravitacionales. Si se cuelga una masa en un muelle y se le hace oscilar verticalmente, se tiene un sistema en que las fuerzas gravitacionales y las fuerzas elásticas del muelle se contraponen entre sí, produciendo variaciones en el sentido y en la intensidad de la aceleración. Estas aceleraciones de sentido alternativamente opuesto hacen que la masa se mueva hacia arriba y hacia abajo respecto de lo que sería el punto de equilibrio del muelle si el sistema estuviese en reposo. Idealmente, este movimiento armónico simple se mantendría indefinidamente, pero un sistema real en movimiento termina por extinguirse a causa de la resistencia que el aire alrededor de la masa opone al movimiento y por el rozamiento interno que se produce en el material que constituye el muelle. Otras dos formas de movimiento armónico simple de este tipo son las vibraciones de un diapasón y las oscilaciones de un péndulo.

Otra aplicación de la Dinámica se tiene en el movimiento de un proyectil. En el caso de una bala disparada por un fusil, la explosión le proporciona una velocidad horizontal constante. Pero también hay una aceleración vertical producida por la

gravedad, que, junto a la velocidad horizontal, hace que el proyectil siga una trayectoria parabólica durante su movimiento. Esta descripción del fenómeno es incompleta, ya que no tiene en cuenta el rozamiento del aire, que se manifiesta como una fuerza resistente o de oposición al movimiento de avance de dicho proyectil.

En cualquier análisis matemático, tanto del movimiento armónico como del movimiento del proyectil, se deben considerar las leyes de Newton.

Cantidad de movimiento y conservación de la energía Cierta forma de energía está siempre presente en todos los cuerpos, en reposo o en movimiento; en los cuerpos en movimiento esta energía recibe el nombre de *energía cinética*. Todas las formas de energía obedecen a un principio, llamado *principio de la conservación de la energía*, según el cual en cualquier proceso físico la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.

Se puede comprender algo del sentido de este principio si se considera otra magnitud llamada *cantidad de movimiento*.

La cantidad de movimiento es simplemente el producto de la masa por la velocidad de cualquier cuerpo. Si se hace rodar una pelota con masa igual a 1 kilogramo a la velocidad de 2 metros por segundo, se tiene una cantidad de movimiento de $2 \text{ kg} \times \text{m/s}$. El punto interesante es que esta cantidad de movimiento es transferida de un cuerpo a otro de acuerdo con la ley general que establece que la cantidad de movimiento total (por ejemplo, de dos cuerpos considerados como un sistema) permanece constante. Por lo tanto, si una pelota choca contra otra de igual masa y en reposo, esta segunda pelota se moverá con una cantidad de movimiento igual

a la de la primera antes del choque, siempre que ésta se hubiera detenido tras el choque. En este caso, la velocidad del segundo cuerpo después del choque será de 2 metros por segundo. (Su cantidad de movimiento es igual a $2 \text{ kg} \times \text{m/s}$, que era la que tenía la primera pelota antes del choque).

Otro importante concepto de la Mecánica clásica es el de *energía potencial gravitacional*, definida como el trabajo (que es igual a la fuerza ejercida multiplicada por el desplazamiento de su punto de aplicación en la dirección de su recta de acción) que un cuerpo puede realizar cuando pasa del estado de reposo al estado de movimiento por efecto de la gravedad. Una piedra levantada sobre el suelo tiene una energía potencial proporcional tanto a su masa como a la distancia que la separa del suelo; dejándola caer, la energía potencial se transforma en energía cinética, es decir, en energía de movimiento.

Las aplicaciones de la Mecánica clásica son necesariamente simples. La Mecánica es, sin embargo, una rama de la Física cuyas aplicaciones (para las que se utiliza una matemática sofisticada) pueden ser enormemente complejas y donde los movimientos y las interacciones pueden describirse con cientos de variables. Prescindiendo de las conquistas de la Física del siglo XX, la Mecánica newtoniana mantiene su importancia como medio indispensable para explicar los fenómenos del mundo que nos rodea.

Véase Elasticidad y deformación; Energía; Estática; Fuerzas centrífuga y centrípeta; Fuerza y campos de fuerzas; Gravedad y gravitación; Inercia; Mecánica celeste; Mecánica cuántica; Rozamiento

Mecánica celeste

El hombre se ha sentido siempre fascinado por el movimiento de las estrellas en el cielo, por el crecer y decrecer de la Luna, por el movimiento de los planetas. Desde puntos muy distintos del Globo, los pueblos primitivos fueron capaces de establecer el transcurrir de las estaciones basándose en las posiciones del Sol, y pudieron asociar el amanecer y el atardecer con la aparición de algunas constelaciones importantes.

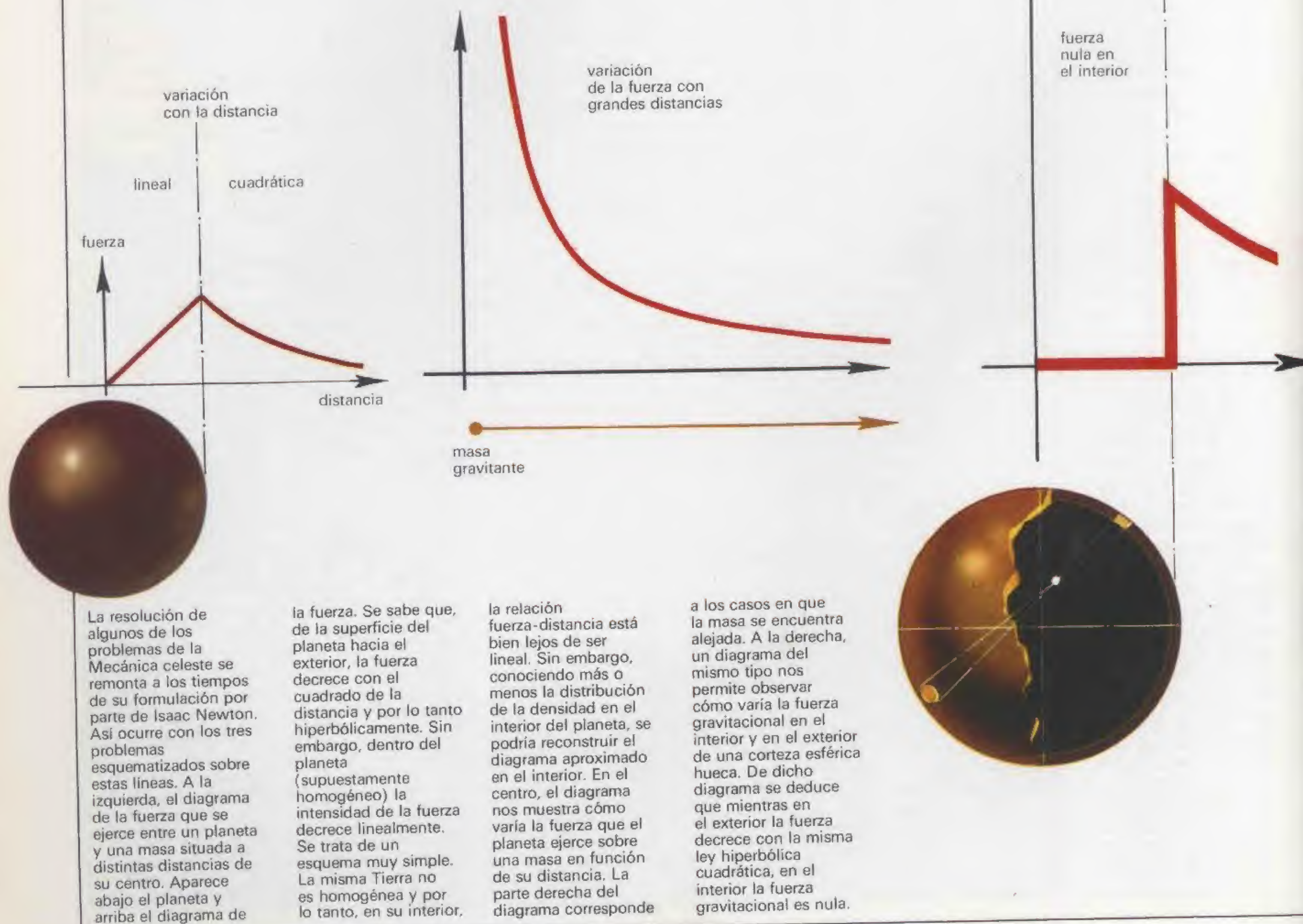
Los sacerdotes del antiguo Egipto, de Babilonia y del Imperio maya registraban el movimiento de las estrellas y de los planetas con gran precisión, hasta el punto de llegar a establecer los primeros calendarios. Los mayas, por ejemplo, fueron capaces de predecir la posición que ocuparía Venus en la bóveda celeste durante los siglos venideros. No se puede decir, sin embargo, que hubieran captado los fundamentos de la Mecánica celeste. De hecho, ningún pueblo de la Antigüedad fue capaz de medir —aunque fuera en términos relativos— la distancia de la Tierra a cualquier otro cuerpo celeste, como por ejemplo la Luna, y asimismo ninguno consiguió

desarrollar una concepción lógica científico-matemática del movimiento de los astros en el espacio.

Aristarco de Samos El verdadero estudio de la Mecánica celeste comenzó en el siglo III a. de C., con Aristarco de Samos. Este intentó determinar las distancias relativas entre Luna, Sol y Tierra, midiendo el triángulo formado por estos tres cuerpos cuando la Luna se encontraba en la fase media. Aristarco calculó que el Sol debería encontrarse a una distancia de la Tierra diecinueve veces superior a la de la Luna. La cifra exacta es de 400 veces, pero el error de Aristarco fue de medida y no de concepto. Observando la sombra producida por la Tierra sobre la Luna durante un eclipse, concluyó que el diámetro de esta última tendría que ser un tercio del de la Tierra, lo que se aproxima bastante al valor exacto, que es de un cuarto.

Nicolás Copérnico Considerado uno de los más grandes astrónomos de todos los tiempos, Nicolás Copérnico era en rea-

lidad un astrónomo aficionado. A diferencia de sus colegas profesionales de la época, Copérnico se hallaba fuertemente influido por los escritos de varios astrónomos griegos de la Antigüedad, y en particular por los escritos de Aristarco, que creía que tanto la Tierra como los otros planetas giraban alrededor del Sol. Pero más que nada, Copérnico no se encontraba conforme con las explicaciones que la astronomía oficial de la época daba sobre el movimiento de los planetas. En sus tiempos el movimiento de los planetas, ilustrado en los almanaques y otras publicaciones de astronomía, aparecía demasiado complicado, fuera de cualquier ley lógica que lo justificase. Por lo tanto, Copérnico se replanteó el problema en el sentido de que si dichos movimientos eran verdaderamente tan complejos, o si aparecían como tales, esto era debido a un error fundamental de concepto: el de querer partir de la hipótesis concéntrica, según la cual tanto el Sol como los otros planetas giraban alrededor de la Tierra. De este modo, Copérnico realizó nuevas tablas sobre el movimiento del Sol y los



planetas, pero basándose esta vez en la hipótesis de que en el centro del Sistema Solar estaba el Sol. Como había supuesto, los datos numéricos obtenidos por él resultaron mucho más simples y precisos, y, sobre todo, respondían a las exigencias del sentido común.

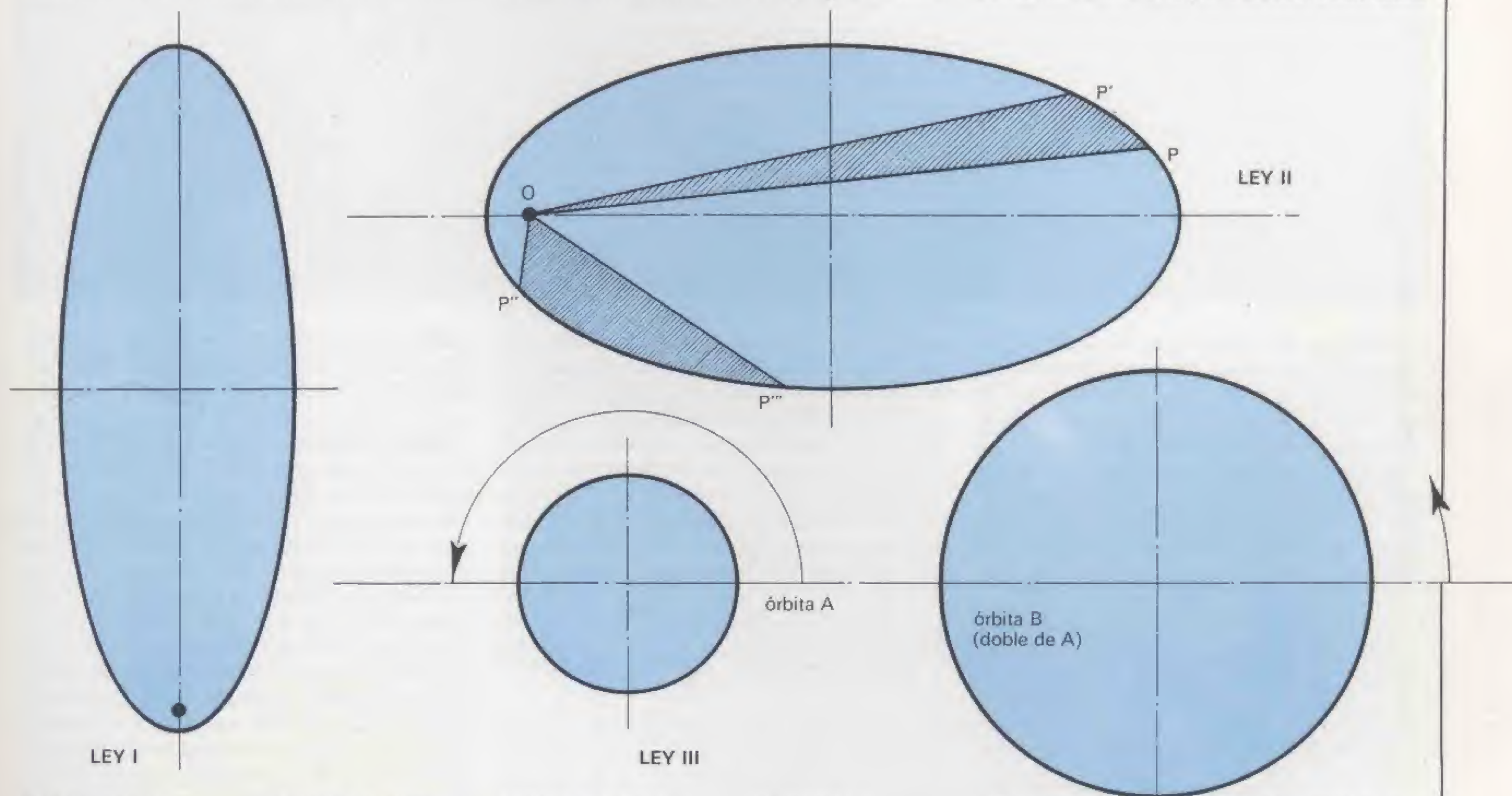
Fue en 1543, en su lecho de muerte, cuando Copérnico mostró al mundo los resultados de su trabajo, pero sólo mucho tiempo después —tras haber examinado y comprobado las nuevas tablas de las posiciones planetarias— los astrónomos de todos los países comenzaron a aceptar la idea de que el Sol ocupaba verdaderamente el centro del Sistema Solar.

Johannes Kepler Ningún estudioso hizo progresar la Mecánica celeste tanto como Johannes Kepler. Cuando comenzó su trabajo en el 1600, el movimiento de los astros y las leyes que lo determinaban estaban llenos de incógnitas que esperaban solución. La mayor parte de los astrónomos pensaba que los planetas giraban alrededor del Sol describiendo órbitas perfectamente circulares, e incluso las distan-

cias relativas de los planetas seguían siendo una incógnita. En realidad, se sabía sólo que las órbitas de Venus y de Mercurio estaban en el interior de la órbita de la Tierra, mientras que las de todos los demás planetas estaban fuera. Pero ¿a qué distancia? No había ningún indicio sobre ello.

El proyecto de Kepler consistente en determinar la forma de las órbitas planetarias era de solución extremadamente difícil. Debía deducir las órbitas de los planetas desde su puesto de observación en la Tierra, cuya órbita ni siquiera conocía. Lo primero que hizo fue determinar la órbita terrestre; en posesión de los valores relativos de su radio vector, y convencido de que era excéntrica respecto al Sol, se propuso hallar los valores del radio vector de la órbita marciana, tomando como base para la medida de la distancia del planeta al Sol dos posiciones de la Tierra correspondientes a la misma posición del planeta en el cielo, es decir, al principio y fin de su revolución sideral. Eso implicaba suponer que el planeta describía una curva cerrada, hipótesis que resultó totalmente cierta. Esto le proporcionaba

una base desde la que desarrollar sus cálculos para deducir otras posiciones de las órbitas de Marte y de la Tierra. El trabajo emprendido por Kepler necesitó no sólo el uso de sus propias observaciones de los planetas, sino también las obtenidas por el astrónomo danés Tycho Brahe, que había recogido muchos datos durante un trabajo de varios años de duración. La complejidad de los cálculos matemáticos que había que realizar era realmente asombrosa, pero Kepler los realizó, y tras un trabajo de decenas de años demostró que los planetas giraban alrededor del Sol siguiendo órbitas elípticas. El Sol se encontraba siempre en uno de los focos de la elipse. Kepler descubrió además que los planetas se movían de tal manera que el radio vector imaginario, que unía el Sol al planeta, barría áreas iguales en tiempos iguales. Finalmente Kepler dedujo que los cuadrados de los períodos de tiempo (o períodos de revolución) que los planetas emplean en describir sus órbitas alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al mismo. Mediante estos tres postulados, conocidos



Los pilares de la Mecánica celeste descansan sobre las leyes de Kepler. Este las dedujo mediante un estudio extremadamente cuidadoso del movimiento orbital del planeta Marte. Es maravilloso observar cómo precisamente a partir del movimiento de un astro que desde la Tierra se muestra totalmente irregular se han podido deducir unas leyes relacionadas con

figuras tan simples como las elipses. La primera ley queda reflejada en la figura de la izquierda: un cuerpo celeste de masa pequeña gravita alrededor de uno con masa mucho mayor, describiendo una elipse en la que el cuerpo de mayor masa ocupa uno de los focos. En el caso de que los dos cuerpos tengan masas comparables o similares, ambos describen órbitas

elípticas en torno al centro de gravedad del sistema en el que coinciden ambos focos. (Si uno de los dos cuerpos tiene masa preponderante, el baricentro de la pareja coincide con el centro de gravedad del mayor.) Puesto que las órbitas de todos los cuerpos celestes son, por lo general, elipses, se observarán como tales sobre la bóveda celeste, ya que, cualquiera que sea la inclinación que tengan

con respecto al observador, toda elipse proyectada desde el infinito aparece como una nueva elipse. En el dibujo superior se muestra la segunda ley de Kepler: según la cual, en la trayectoria elíptica de un cuerpo alrededor de uno de masa mayor (o bien alrededor del baricentro de la pareja) el segmento que une el cuerpo con el foco de la elipse (por ejemplo, en la figura, PO y P'O; P'O

y P''O), y que es llamado *radio vector*, barre áreas iguales en tiempos iguales. Por ejemplo, si el cuerpo va de P a P' en el mismo tiempo que de P'' a P'', el área de los triángulos mixtilíneos POP' y P''OP'' es igual. Esta ley resulta de gran utilidad para predecir cuál será la velocidad con la que se moverá el cuerpo a lo largo de la órbita. Finalmente, la tercera ley afirma que los cuadrados de los

tiempos (períodos) en los que dos planetas distintos recorren dos órbitas de distinta amplitud son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de dichas órbitas. Si las órbitas se suponen circulares y una doble de la otra, entonces los cuadrados de los tiempos de revolución están en la relación 1 a 8. Los tiempos estarán en la relación de 1 a 2,83 aproximadamente.



En los primeros tiempos (después de la formulación de las leyes de Newton) los especialistas en Mecánica celeste se ocupaban casi exclusivamente de estudiar las órbitas. En la actualidad, sin embargo, la Mecánica celeste se ocupa de muchos otros problemas que se solapan con actividades propias del campo de la Astrofísica. Arriba, por ejemplo, puede observarse el problema del cálculo de las oscilaciones de una masa estelar. Una estrella se compone de gas caliente con densidad estratificada desde el centro hasta la superficie. El calor es generado por el núcleo central del astro, que mantiene un equilibrio de estabilidad muy precaria. Basta con

poco para que se inicien en la estrella oscilaciones de volumen: la estrella se dilata y se contrae. La Mecánica celeste permite calcular la energía que se libera en la contracción, así como la energía necesaria para la expansión. Por lo tanto, con estos datos, se puede deducir cuándo se enfría la estrella, cuánto se expande y cuánto se calienta en la contracción. También resulta posible calcular las características de fenómenos mucho más grandiosos que las oscilaciones de la estrella: por ejemplo, en los casos de explosiones o implosiones, eventos catastróficos que llevan a la disgregación de la estrella, convirtiéndola en una supernova.

movían? y ¿a qué influencias estaban sometidos?

Isaac Newton El trabajo de Isaac Newton sobre la *gravitación universal*, como él lo llamó, será siempre considerado como uno de los mayores logros científicos alcanzados por la mente humana. Previamente a resolver el problema de la gravitación, Newton dirigía sus trabajos de investigación con el objeto de dar respuesta a una cuestión fundamental: ¿estaba la Luna en un proceso de caída hacia la Tierra? y, en ese caso, ¿estaba cayendo del mismo modo que cae una manzana? Newton pensó que si, en efecto, la Luna estaba cayendo, esa caída se producía a una velocidad muy inferior a la de una manzana, y esto, supuso, tenía que ser debido a que la Luna estaba más lejos de la Tierra que la manzana. Análogamente al hecho de que la intensidad de la luz disminuía con el cuadrado de la distancia a la fuente emisora, Newton consideró que también la intensidad de la fuerza atractiva disminuiría del mismo modo. Tras haber calculado la velocidad de caída de la Luna y su distancia, Newton descubrió que su caída hacia la Tierra se regía por las mismas leyes que la de cualquier cuerpo que cayese en proximidad a la superficie terrestre. Después, Newton formuló sus famosas *leyes de la gravedad*. Contrariamente a lo que se piensa, nunca escribió que los cuerpos celestes se atraen recíprocamente; escribió, sin embargo, en los *Principia*: "No he podido descubrir, a

Hace menos de cuatro siglos Kepler formuló las leyes que llevan su nombre, con las cuales se resolvió el problema del movimiento de dos cuerpos celestes en el espacio. Pero si se trata de tres cuerpos, la resolución del problema se hace casi imposible, a no ser que dos de los cuerpos sean de masas similares, siendo el tercero muy pequeño en comparación con los otros dos. El problema puede resolverse únicamente mediante interacciones de cálculo con ordenadores automáticos de gran capacidad. Cualquier solución teórica general resulta demasiado compleja para poder ser utilizada en la práctica. En la figura (abajo, a la izquierda) se

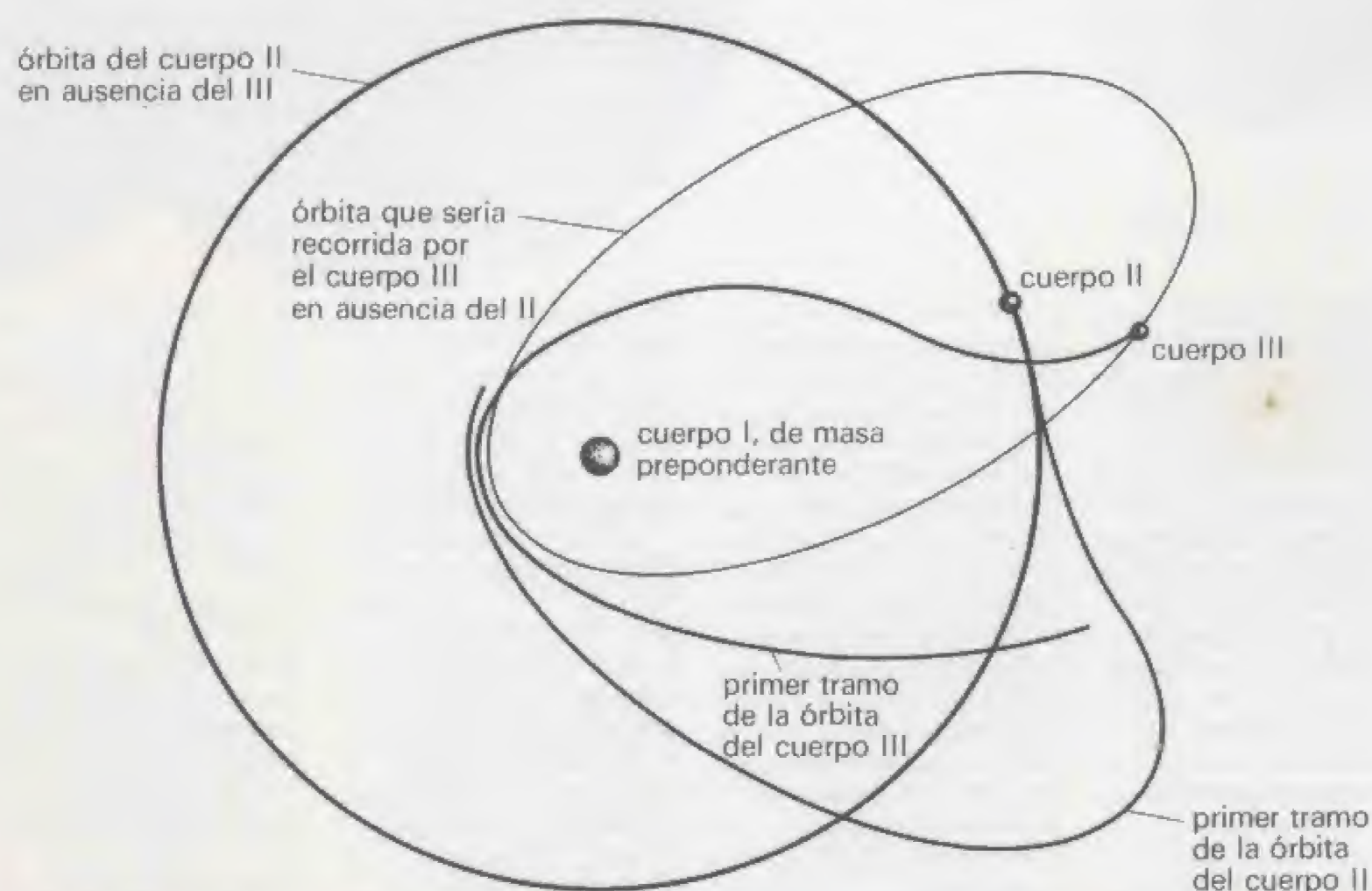
muestra la forma en la que los tres cuerpos podrían orbitar unos alrededor de los otros; es evidente que mientras en el caso de dos cuerpos éstos repiten siempre las mismas órbitas (que, de variar, lo hacen con extrema lentitud), en el caso de que sean tres, al menos uno de ellos se mueve alrededor de los otros en forma siempre distinta; el cálculo de su órbita se prolongaría hasta el infinito. Han pasado aproximadamente dos siglos desde que se encontraron soluciones particulares para este problema. Se trata de las llamadas *soluciones de Lagrange*. En el caso de un astro que gira alrededor de otro en una órbita casi circular, podría darse la circunstancia de que

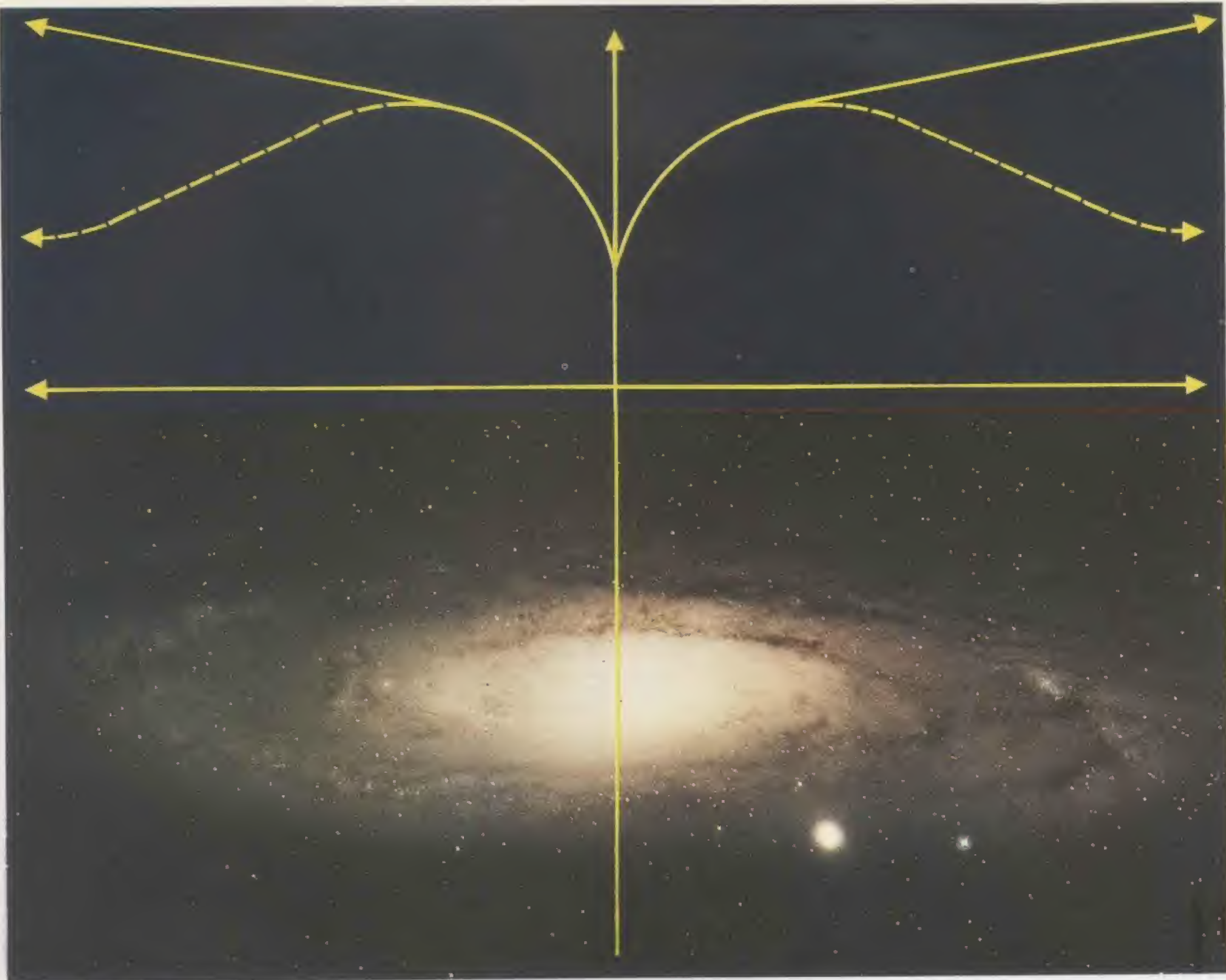
como *leyes de Kepler*, los astrónomos tuvieron en sus manos los mecanismos para conocer no sólo la forma de las órbitas de los planetas, sino también todas las distancias relativas entre estos y el Sol.

Gracias al trabajo de Kepler, la ciencia había llegado a comprender la forma en que se movían los planetas; pero otras preguntas fundamentales esperaban aún respuesta: ¿qué los movía?, ¿por qué se

partir de los fenómenos, la causa de las propiedades de la gravedad, sobre la cual no formuló ninguna hipótesis."

Albert Einstein Como resultado del intenso trabajo realizado por Einstein en el siglo XX, la Mecánica celeste asumió aspectos nuevos y totalmente inesperados. Para ello, Einstein pudo disponer de nuevas teorías matemáticas basadas en geometrías no euclidianas. Diversos matemáticos, entre los que figuraban Hermann Minkowski y Georg Riemann, habían demostrado que en la geometría del espacio no se podía prescindir de la variable tiempo; que, además, este espacio-tiempo tetradimensional se distorsionaba o curvaba a manos de los cuerpos graves, de forma que un pequeño objeto de prueba se movía a lo largo del camino "más corto" en este continuo espacio-temporal curvado. Muchos matemáticos, sin embargo, consideraban dicho aspecto curvo como una simple abstracción, y fue sólo la genialidad de Einstein la que consiguió utilizar estas nociones abstractas para fines prácticos. Por ejemplo, calculó nuevamente las órbitas de los planetas, proponiendo en particular la de Mercurio en términos de un espacio curvo, no euclídeo. Aunque los datos de Kepler y Newton correspondían a hechos experimentales, sus conclusiones no preveían correctamente





la órbita de Mercurio. Se apartaban ligeramente de ello, mientras que las previsiones de Einstein correspondían exactamente a la órbita real de este planeta. Einstein planteó que el Sol y los planetas, al estar dotados de una cierta masa, curvaban el espacio a su alrededor, y que cuanto mayor era la masa de un cuerpo era mayor la curvatura del espacio que lo rodeaba. Aunque nos resulte imposible ver este espacio curvo, sabemos que es así.

Las premisas iniciales de la teoría de la gravitación de Einstein se remontan al siglo I, cuando Herón de Alejandría descubrió que la luz reflejada viaja siguiendo un recorrido según el cual la distancia es la mínima. El matemático alemán David Hilbert escribió acerca de la teoría de Einstein que: "la gravedad actúa minimizando la curvatura del espacio-tiempo". E. T. Whittaker, que escribió también sobre la óptica de Newton, consideró que "la gravedad (tal y como la expresa Einstein) representa, simplemente, un esfuerzo continuo del Universo para enderezarse".

El problema de los tres cuerpos A pesar de los grandes progresos que se han alcanzado en la Mecánica celeste, numerosos problemas quedan aún por resolver. Entre estos, el más interesante para nuestra era espacial es el llamado *problema de los tres cuerpos*. Kepler y Newton demos-

→ dicha órbita fuese compartida con otros cuerpos de masa pequeña, siempre que las posiciones de éstos coincidan con dos puntos precisos de la órbita, llamados *puntos equiláteros de Lagrange*.

Las aplicaciones más fascinantes de la Mecánica celeste son quizá las que tienen relación con los grandes sistemas estelares, como por

ejemplo los cúmulos globulares y las galaxias. En el caso de un cúmulo estelar, se puede calcular si es estable o no lo es. En éstos, las estrellas circulan alrededor del baricentro del sistema y se mueven teóricamente según órbitas elípticas, pero que en la práctica no lo son; esto se debe al hecho de que las estrellas del cúmulo interaccionan entre sí,

traron a los científicos que es posible determinar la órbita de un planeta alrededor del Sol. Pero ¿cómo se interaccionan entre sí tres cuerpos celestes? Puede parecer extraño, pero nadie lo sabe: este es un problema todavía por resolver. Ni los matemáticos más brillantes, ni las más sofisticadas computadoras han podido solucionarlo completamente. De hecho, las naves espaciales que realizan viajes hacia otros planetas tienen que enfrentarse con este problema y su ruta debe ser continuamente corregida durante el vuelo hacia el planeta al que se dirigen.

Véase **Astronomía; Astronomía para aficionados; Planetas; Relatividad, teoría general de la; Relatividad restringida ($E=mc^2$); Sistema Solar; Telescopio; Telescopio para aficionados**

acercándose y alejándose unas de otras, de manera que sus órbitas se deforman y se hacen impredecibles. Pero es posible determinar estadísticamente el alcance medio de estos efectos y calcular la probabilidad de que las estrellas sean aceleradas durante estos encuentros hasta el punto de poder escapar para siempre del cúmulo. En este caso se dice que se han *evaporado*. Este término se basa en la analogía que existe con el movimiento de las moléculas en una gota de líquido. Otra gran aplicación consiste en la búsqueda de posibles agujeros negros en el interior de los cúmulos o de las galaxias. Se sabe que la presencia de estos cuerpos abismales daría lugar a notables alteraciones en la densidad de estos cúmulos, sobre todo en las zonas centrales. Es el cálculo basado en las leyes de la Mecánica celeste, el que proporciona a los observadores la

forma en que deben fotografiar el centro de estos astros, con el fin de detectar alguna anomalía en la densidad estelar que confirme la presencia del supuesto agujero negro. Sobre estas líneas, otro interesante problema de dinámica galáctica, que permite estudiar la distribución de la densidad de la materia alrededor del centro de una galaxia. Si la materia que la compone fuese sólo la que se ve y la galaxia estuviese en equilibrio, entonces la curva de la velocidad de rotación en función de la distancia al centro sería la de una doble campana. Sin embargo, la curva que se observa en la figura parte desde el centro de la galaxia, y no muestra signos de descender en los confines visibles de ésta. Por lo tanto, la Mecánica celeste sugiere que en las galaxias debe de existir mucha materia más allá de lo que marcan sus límites visibles específicos.

Mecánica cuántica

Durante el siglo XX la Física ha conocido dos revoluciones fundamentales. Una de ellas se produjo con el desarrollo de la teoría de la relatividad y la otra con el nacimiento de la Mecánica cuántica. Según la teoría de la relatividad, el comportamiento de un cuerpo que se desplaza a una velocidad próxima a la de la luz es muy distinto de su comportamiento a velocidades más pequeñas. Por su parte, la Mecánica cuántica demuestra que, en el campo de las dimensiones extremadamente pequeñas, los cuerpos siguen leyes de comportamiento completamente distintas de las del mundo macroscópico.

La Mecánica cuántica no sustituye a la Mecánica clásica (como sucedió, por ejemplo, con el modelo copernicano del sistema solar, que situaba al Sol en el centro del sistema y que sustituyó al modelo ptolemaico, en el que la Tierra estaba en el centro del sistema solar). La Mecánica cuántica se aplica a los fenómenos internos del átomo y, aplicada a cuerpos de dimensiones mayores, da lugar a las mismas leyes que la Mecánica clásica. Además, la Mecánica cuántica permite profundizar más en las propiedades y la estructura de materiales sólidos —como los semiconductores—, resuelve algunos problemas que la Mecánica clásica no puede solucionar y da pie a nuevas incógnitas sobre la naturaleza del Universo.

Nacimiento y origen de la Mecánica cuántica La Mecánica cuántica tuvo su origen en una idea que anticipó en el año 1900 el físico alemán Max Planck, quien intentaba explicar por qué algunas sustancias al ser calentadas emiten radiación luminosa. En aquella época se consideraba que la luz era exclusivamente una onda electromagnética. A pesar de los múltiples intentos, Planck no llegó a encontrar ninguna forma para que estuvieran de acuerdo los principios de la Física clásica con los resultados obtenidos en los experimentos. En lo que definió como "un puro acto de desesperación", Planck sugirió que aquellos cuerpos emitían luz sólo en determinadas cantidades y nunca en fracciones de estas cantidades. Planck llamó *cuanta* (o *cuantos*) a estas cantidades elementales, y su hipótesis era que la emisión luminosa de los cuerpos calentados era una "emisión por cuantos". Aunque la luz tenga propiedades de tipo ondulatorio, estos *cuantos* se comportan en cierta manera como partículas, y reciben el nombre de *fotones*.

Planck estableció también la ley que relaciona la frecuencia de la emisión luminosa con la energía de los *cuantos* que la forman: la energía de un *cuanto* es igual a la frecuencia (ν) multiplicada por una constante (h) que toma el nombre de *constante de acción de Planck*. La expresión es $E = h\nu$. Por este descubrimiento Planck recibió el Premio Nobel en 1918.

En 1905 Albert Einstein desarrolló la teoría que había propuesto Planck en 1900. Sostuvo que la luz, independientemente de la fuente que la produzca, está

La Mecánica clásica y la teoría clásica de las ondas electromagnéticas y de los fotones no son capaces de explicar en todos los casos el comportamiento de la luz y de las partículas conocidas a través de algunos experimentos efectuados en el mundo microscópico. Por tanto, son necesarias nuevas ecuaciones que describan el movimiento y las partes que componen las moléculas, los átomos y los núcleos atómicos. Estas ecuaciones tienen que surgir a partir de la

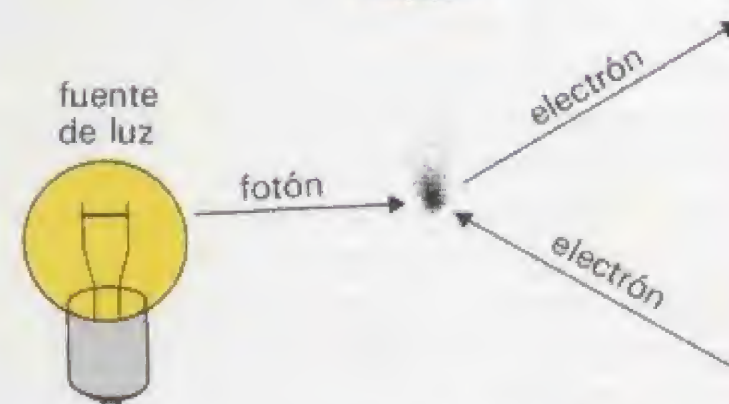
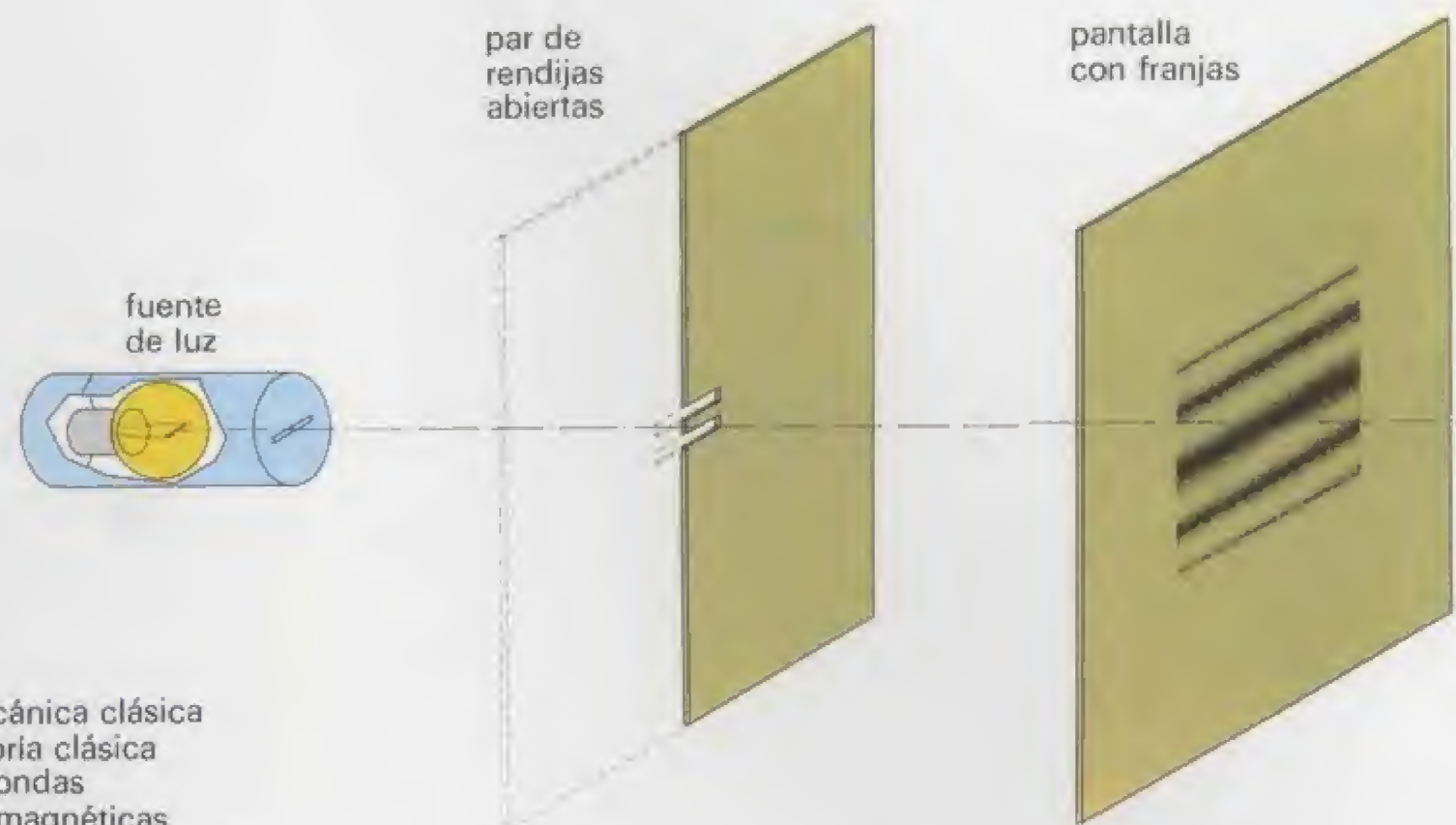
experiencia o de principios coherentes con ella. Uno de estos principios es el que se deriva de la paradoja que existe en la interferencia ilustrada en la figura de aquí arriba y en la otra similar de la página siguiente. Sobre estas líneas se puede ver la experiencia clásica de las franjas de interferencia de Fraunhofer.

formada por *cuantos*, o pequeños "granos", con determinadas características.

En 1913 el físico danés Niels Bohr extendió el modelo de los *cuantos* de luz, que habían desarrollado Planck y después Einstein, al estudio del átomo y propuso un modelo de átomo completamente nuevo. En este momento ya estaban puestas las bases para el desarrollo de la Mecánica cuántica y la comprensión de las leyes que rigen el movimiento de las partículas elementales en términos de *cuantos*.

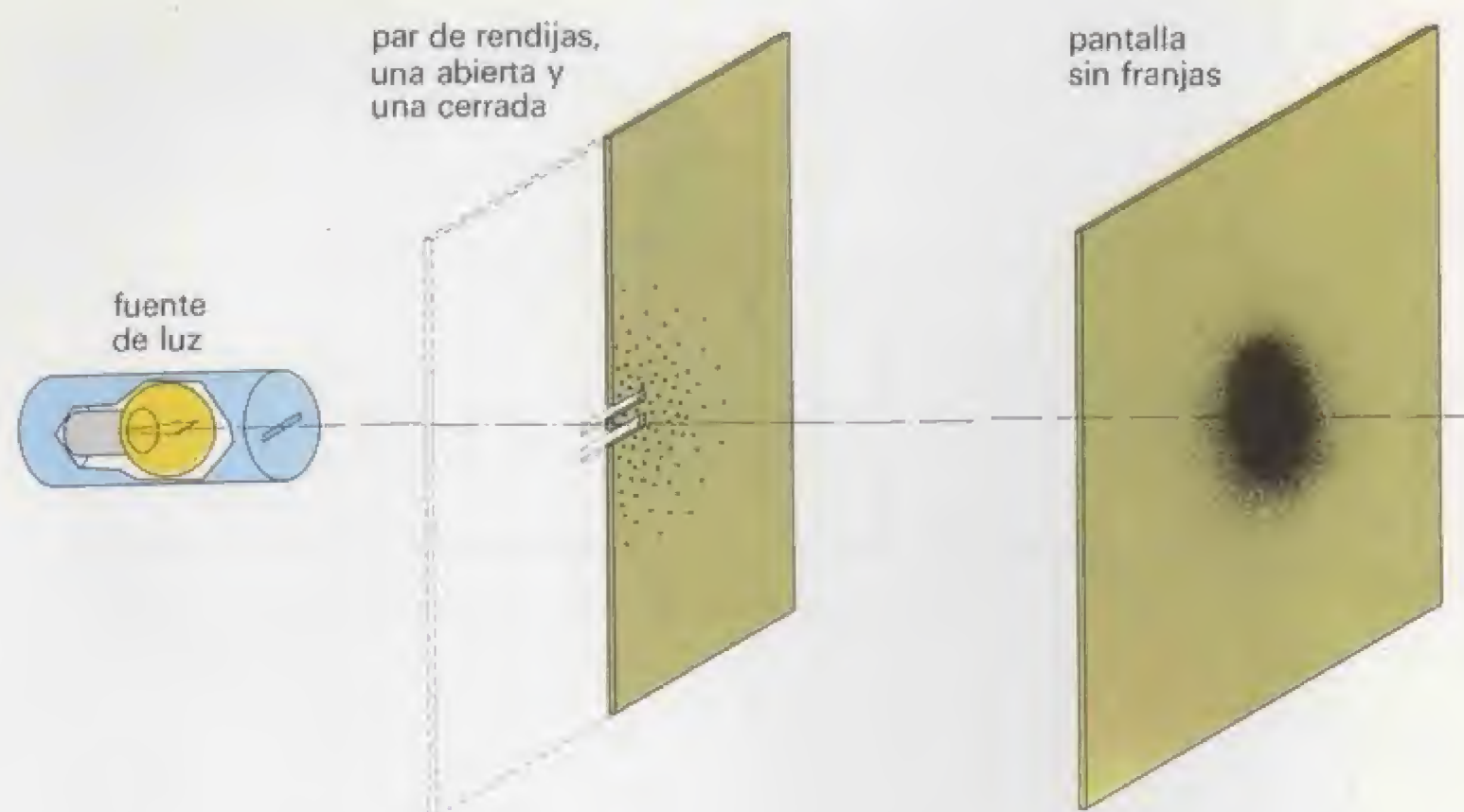
Dualismo onda-materia El físico francés Victor de Broglie dio el paso decisivo que llevó a la Mecánica cuántica. En 1924, en las conclusiones de su doctorado, De Broglie anticipó una hipótesis muy simple que revolucionó la ciencia: si las partículas de luz (los fotones) se asociaban a una onda, ¿por qué no se podían asociar también a una onda las partículas materiales? Era muy simple, en base a la fórmula de Planck ($E = h\nu$) y a la de Einstein ($E = mc^2$), calcular la longitud de estas ondas (λ) y la frecuencia c ($\nu = c/\lambda$). De Broglie afirmó que la frecuencia de la onda de un elemento de materia es igual al valor de la constante de Planck dividido por la cantidad de movimiento del elemento (el producto de su masa por su velocidad), y lo expresó así: $\nu = h/mv$. Esta ley se conoce como *relación de onda de De Broglie*.

Si cada cuerpo material está asociado a una onda, ¿por qué no se pueden obser-



Si en el mundo macroscópico la observación de un ente físico no perturba su movimiento, en cambio, dentro de un átomo, o en cualquier observación de partículas como electrones o protones, la observación les puede perturbar. Por ejemplo, sobre estas líneas se ve un electrón en el campo de un microscopio (en realidad un microscopio no es suficiente para ver un

electrón, pero se trata de un experimento ideal). Para poder verlo sería necesario que el electrón estuviera iluminado, es decir, le alcanzara un fotón. Pero al golpear al electrón, el fotón le comunica un impulso que altera su movimiento, y el electrón experimenta una desviación. Conclusión: no se puede medir con el mismo experimento la posición y la velocidad del electrón.



Si se repite el experimento sobre la interferencia luminosa atenuando la luz de la fuente hasta obtener la emisión de un único fotón cada vez, el fotón no se puede interferir a sí mismo porque, al ser una única partícula, tendría que pasar sólo por una de las dos rendijas. Si el fotón pasara por una sola rendija, la figura de interferencia tendría que aparecer aunque se cerrara una de las

dos rendijas. En cambio, el experimento demuestra que, si se cierra una de las dos rendijas, la figura de interferencia desaparece. La conclusión que se obtiene es que el fotón, aunque esté aislado, pasa a través de las dos rendijas, lo que implica que no es una partícula, sino que posee una estructura difusa. En vez de imaginárnoslo como una esfera minúscula,

lo tenemos que imaginar como una sucesión de ondas de amplitud variable, que reproduce correctamente el esquema de abajo; en el dibujo se ve también en sección para poder observar la disposición espacial de las ondas. Según la Física clásica, el fotón estaría colocado en el centro del grupo de ondas; en cambio, según la Mecánica cuántica, el fotón se comporta

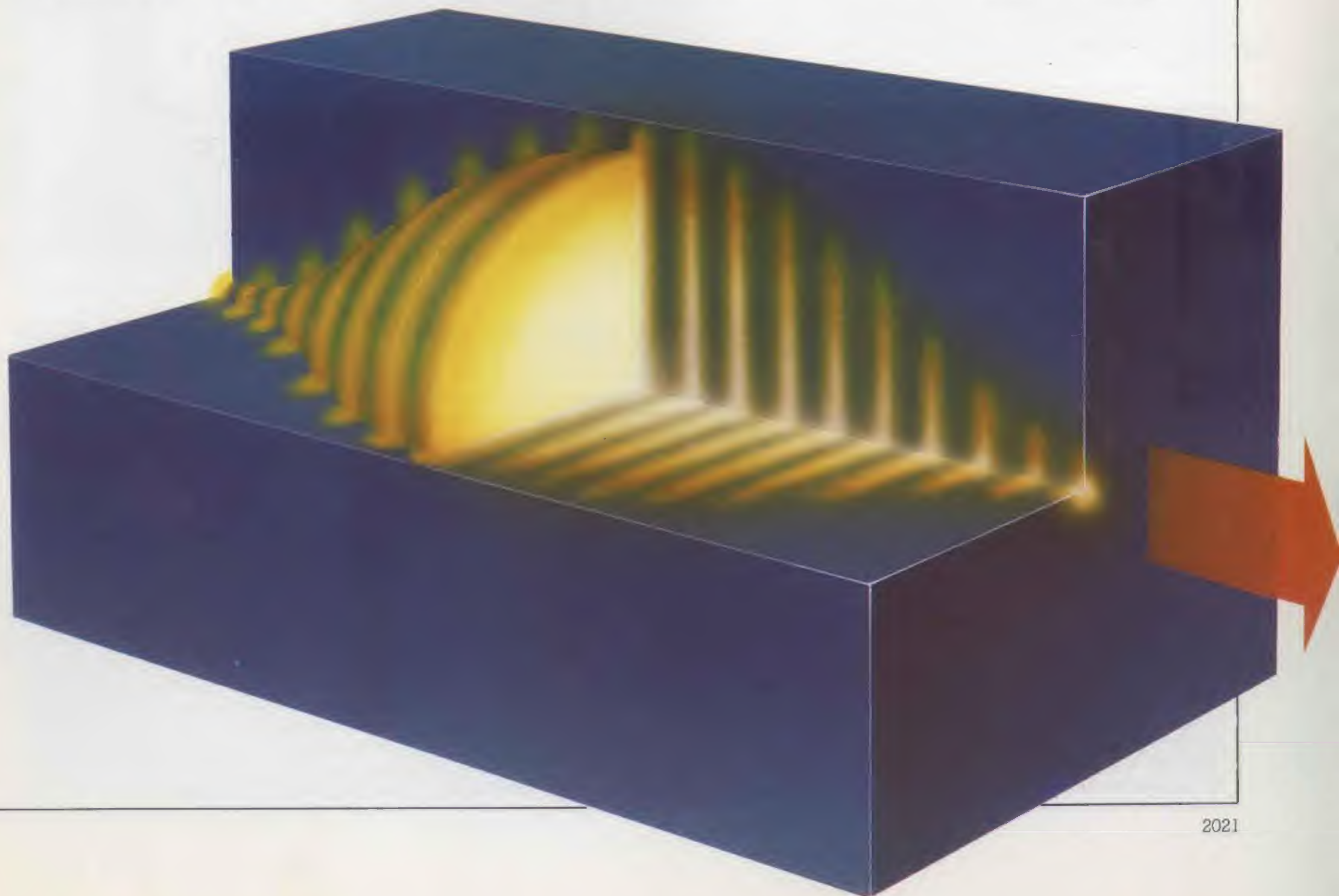
como un paquete de ondas. El experimento, que permite determinar al mismo tiempo tanto la posición como la velocidad de una partícula microscópica, lleva al llamado *principio de indeterminación*. Este principio, junto con la descripción de las partículas como paquetes de ondas, permite establecer la ecuación básica de la Mecánica cuántica.

var normalmente las ondas de materia? Porque las longitudes de onda de la materia son demasiado pequeñas. La longitud de onda asociada a una bola de béisbol, por ejemplo, es billones de veces más pequeña que la de un fotón.

A pesar de ello, tres años después de la disertación de De Broglie, los científicos americanos Clinton Davisson y Lester Germer consiguieron observar, en algunos casos, un comportamiento ondulatorio de los electrones, confirmando la certeza de la teoría de De Broglie.

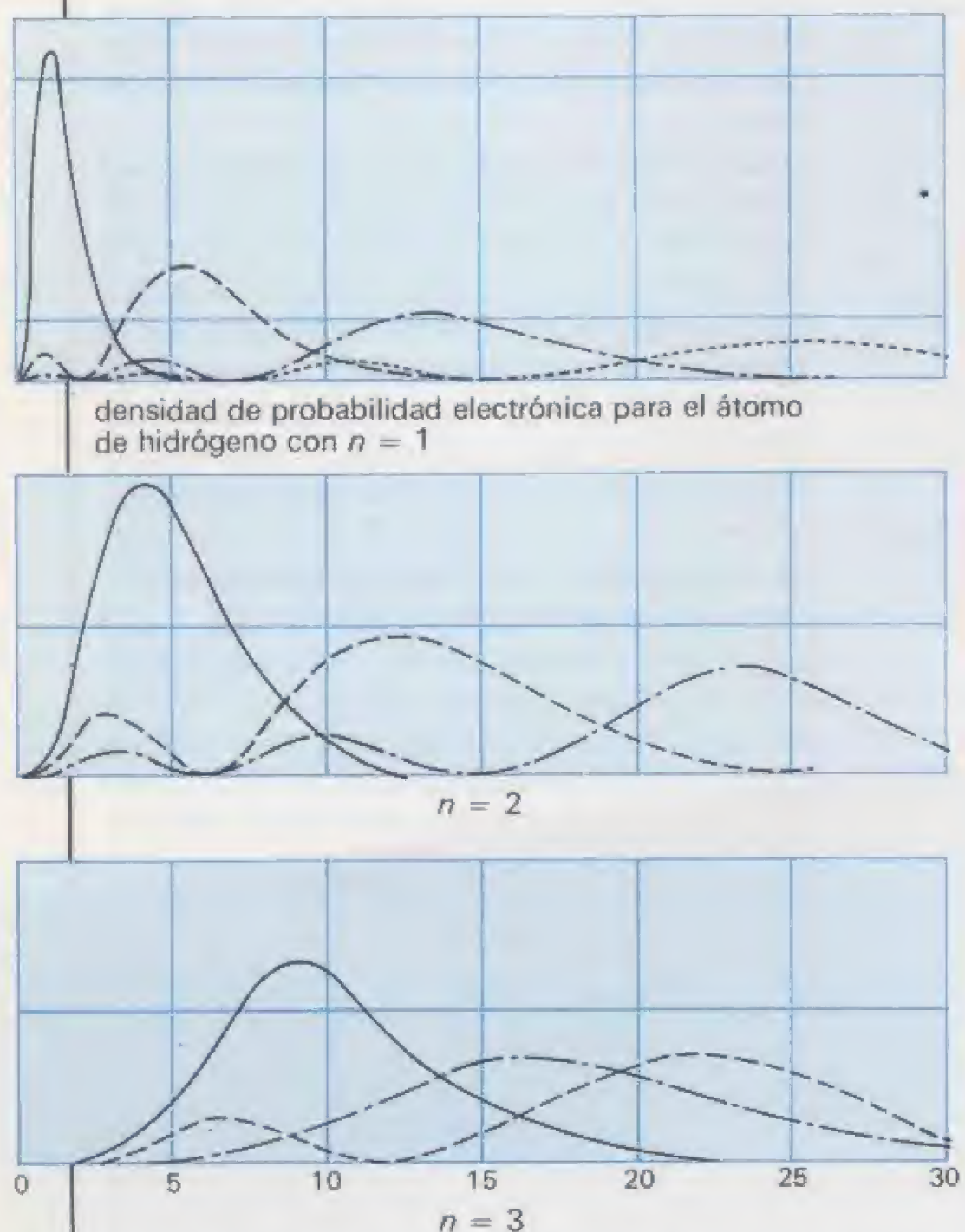
En el año 1926 el físico austriaco Erwin Schrödinger utilizó la relación de onda de materia de De Broglie para profundizar en aspectos del átomo todavía desconocidos. De la misma manera que trece años antes Bohr había aplicado la teoría de los *cuantos* para desvelar algunos aspectos del átomo, Schrödinger utilizó la teoría de las ondas de materia de De Broglie para profundizar aún más en el conocimiento del átomo.

Schrödinger supuso que la órbita de un electrón debía de contener un número de longitudes de onda de valor entero y que una órbita, por ejemplo, no podría tener 4,5 ó 19,25 longitudes de onda. Por tanto, de acuerdo con esta hipótesis, formuló la *función de onda*, llamada por ello de *Schrödinger*, que tiene una importancia fundamental para comprender el comportamiento de los átomos, de las moléculas, de los cuerpos sólidos y de todos los sistemas microscópicos no relativistas.



Las leyes cuánticas en el átomo: los números cuánticos A partir del trabajo de Schrödinger se desarrollaron muchos modelos matemáticos para predecir el comportamiento de las partículas. En el caso de los electrones de un átomo, los modelos llevan asociada una serie de números cuánticos que se representan con las letras n , l , m y s . A cada electrón se le asocian los cuatro números. No pueden existir dos electrones, dentro del mismo átomo, con los cuatro números cuánticos iguales; esta última ley se conoce como el *principio de exclusión de Pauli*, puesto que fue el físico austriaco Wolfgang Pauli quien la formuló por primera vez en 1925.

Los electrones están distribuidos alrededor del núcleo del átomo en órbitas llamadas *niveles*. El número cuántico princi-



densidad de probabilidad electrónica para el átomo de hidrógeno con $n = 1$

$n = 2$

$n = 3$

Cuando se habla, en el sentido clásico, de la distribución de los electrones alrededor del núcleo de un átomo, por ejemplo de un átomo de hidrógeno, se piensa en el modelo de órbitas. En cambio, la Mecánica cuántica presenta una situación más compleja. Los electrones son partículas, pero se conciben como paquetes de ondas, y esto, a su vez, lleva al concepto de probabilidad de encontrar el electrón en una cierta zona del espacio. Por ejemplo, en el caso del átomo de hidrógeno esta probabilidad se describe con las funciones que vemos

sobre estas líneas: dependiendo del número cuántico acimutal, que describe el estado electrónico del átomo, la densidad de probabilidad de encontrar el electrón a distancias distintas del núcleo varía en cada caso. Sólo a partir de un diagrama de este tipo podemos "ver" la estructura del átomo. A la derecha, disposición de los niveles de energía de los electrones en un átomo de hidrógeno. Según la Mecánica clásica, los electrones podrían ocupar un nivel cualquiera, mientras que la Mecánica cuántica afirma que únicamente se pueden encontrar en estas series armónicas.

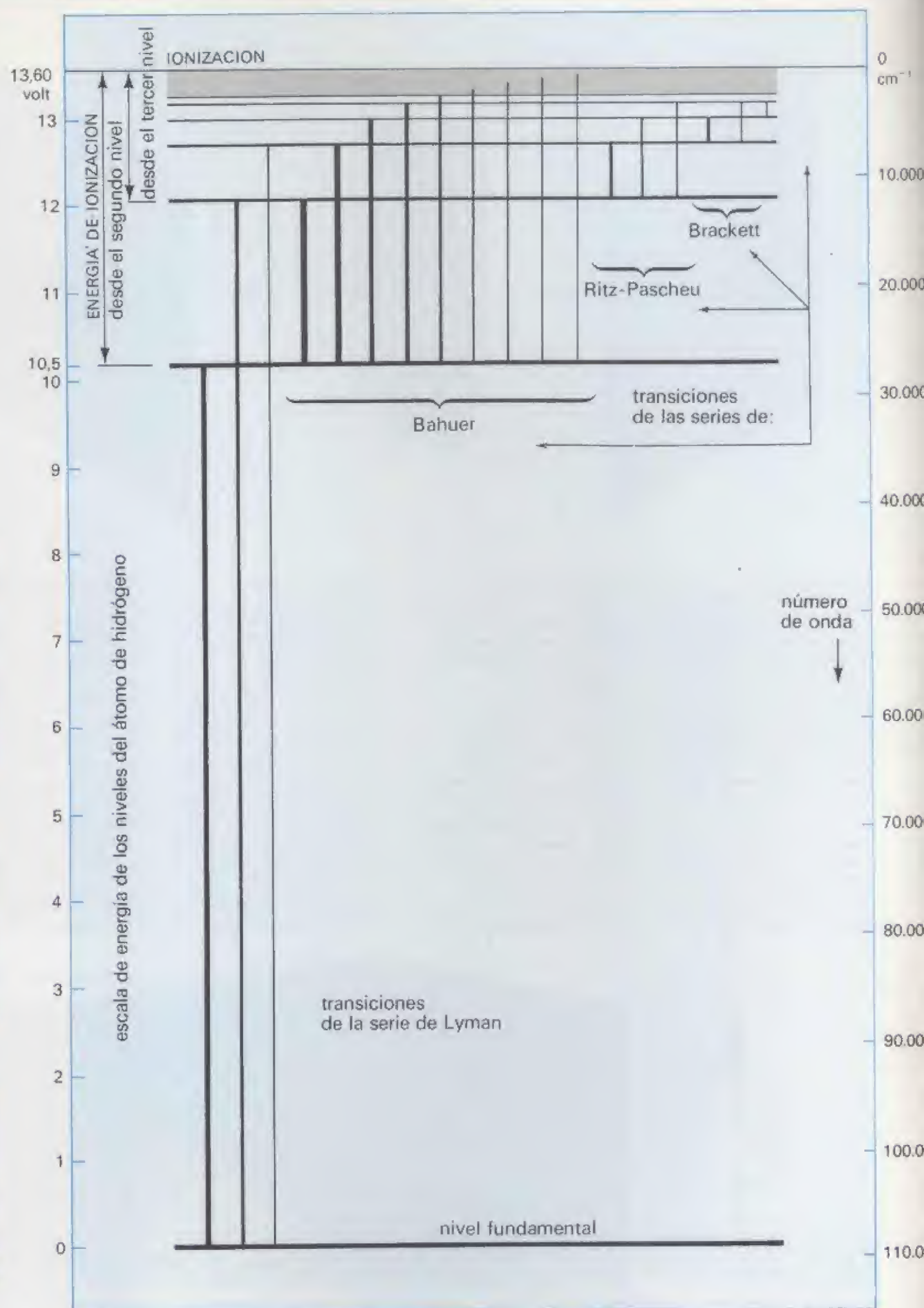
pal, n , indica el nivel principal que ocupa el electrón. El número cuántico secundario, l , indica el subnivel donde se encuentra dentro del nivel principal. El número cuántico magnético, m , representa el efecto de un campo magnético externo al electrón; mientras que el *spin*, s , se refiere al sentido de giro del electrón sobre su eje. Los electrones pueden girar en uno de los dos sentidos posibles, por lo que se puede dar dos valores.

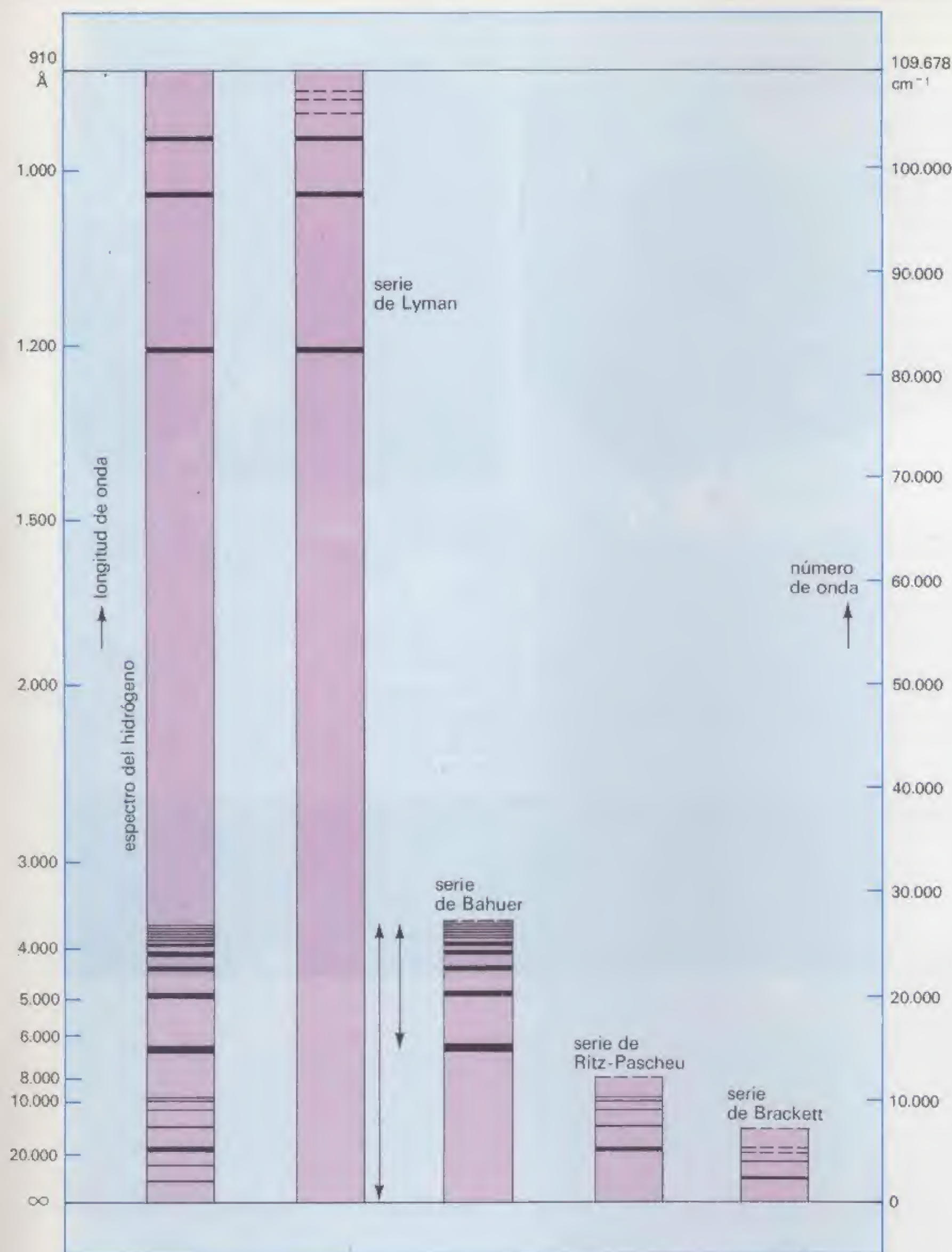
Las leyes cuánticas fuera del átomo: la estadística cuántica Para describir el comportamiento de las partículas fuera de los átomos, también se conocen leyes matemáticas. Todas las partículas pertenecen a uno de dos grupos, dependiendo del valor de su *spin*. Si el *spin* de una partícula es un número entero (0, 1, 2, 3, etc.), su comportamiento responde a una serie de ecuaciones, conocida como *estadística de*

Bose-Einstein por el nombre de los científicos que la formularon. Estas partículas, entre las que se encuentran los mesones y los fotones, se denominan indistintamente *bosones*.

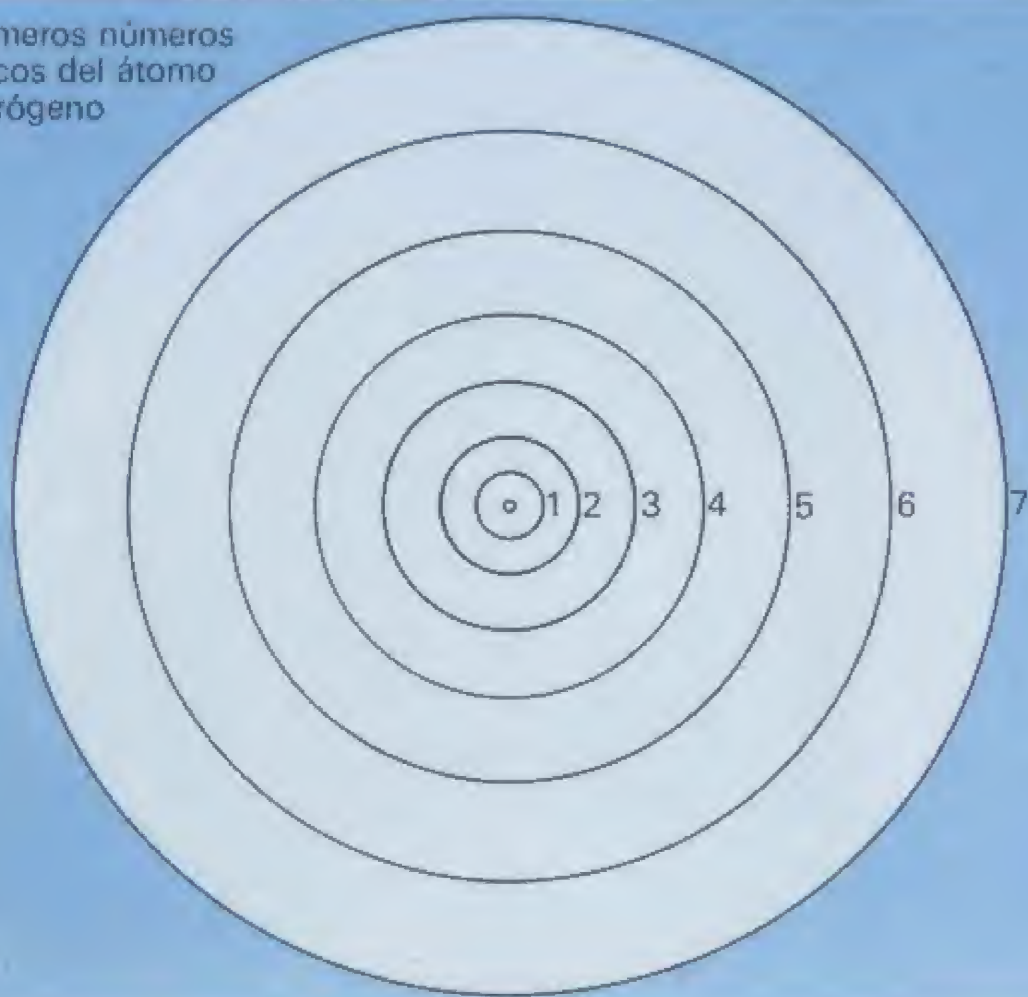
Si, en cambio, el *spin* de una partícula es un número fraccionario ($1/2$, $3/2$, etc.), responde a otra serie de ecuaciones, conocida con el nombre de *estadística de Fermi-Dirac* por el nombre de los científicos que la desarrollaron. Todas las partículas de este segundo tipo, entre las que están los protones, neutrones y electrones, se llaman en conjunto *fermiones*.

Existe otro modelo matemático, llamado de la *gauge theory*, teoría extremadamente compleja que utilizan los físicos actualmente para intentar unificar los cuatro tipos de fuerzas existentes en el Universo, o bien demostrar que tales clases de fuerzas no son sino manifestaciones distintas de un único tipo de fuerza.





los primeros números cuánticos del átomo de hidrógeno



Según la Mecánica cuántica, el concepto de "órbita" de los electrones en un átomo de hidrógeno (a la izquierda) se debe entender como el recorrido medio de los electrones que poseen la energía determinada por su ecuación de movimiento. Los electrones pueden, absorbiendo energía, saltar a un nivel superior, emitiéndola en el caso opuesto. Arriba, a la izquierda, el espectro del hidrógeno, y, hacia la derecha, su descomposición en las emisiones obtenidas por el descenso del electrón sobre el primer, segundo, etc., niveles de energía.

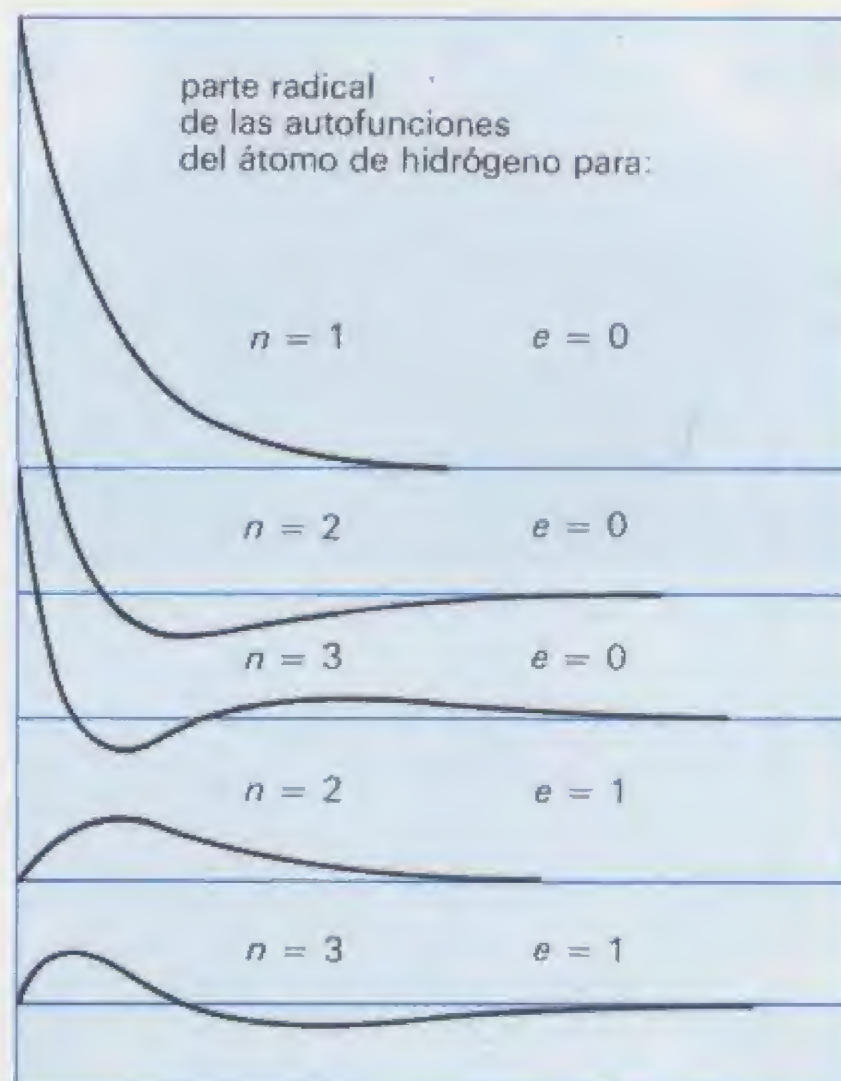
Todos los modelos de Mecánica cuántica que no incluyen la teoría de la relatividad se llaman *no-relativistas*; aquéllos que la incluyen, por el contrario, se dice que son *relativistas*.

Principios de conservación e invariancia: leyes Entre los principios más importantes de la Física están los de conservación y de invariancia. Los principios de conservación afirman que, en todos los fenómenos, la cantidad de una magnitud física se conserva.

El principio de conservación de la masa y la energía establece que una parte de la masa se puede transformar en energía, o bien una parte de la energía en

Abajo, las funciones de onda de los electrones en un átomo calculadas con la ecuación de Schrödinger, que permite determinar los posibles estados energéticos y la probabilidad de

localizar en una determinada posición una partícula de un sistema (por ejemplo, el átomo). Puede decirse que sin esta ecuación no se sabría apenas nada sobre la estructura real del átomo.



masa, siguiendo la fórmula $E = mc^2$; pero la cantidad total de masa y energía tiene que permanecer invariable. Existen leyes de conservación análogas para el *número bariónico*, para el *número leptónico*, para la conservación de la *extrañeza* y de algunas otras propiedades de las partículas elementales.

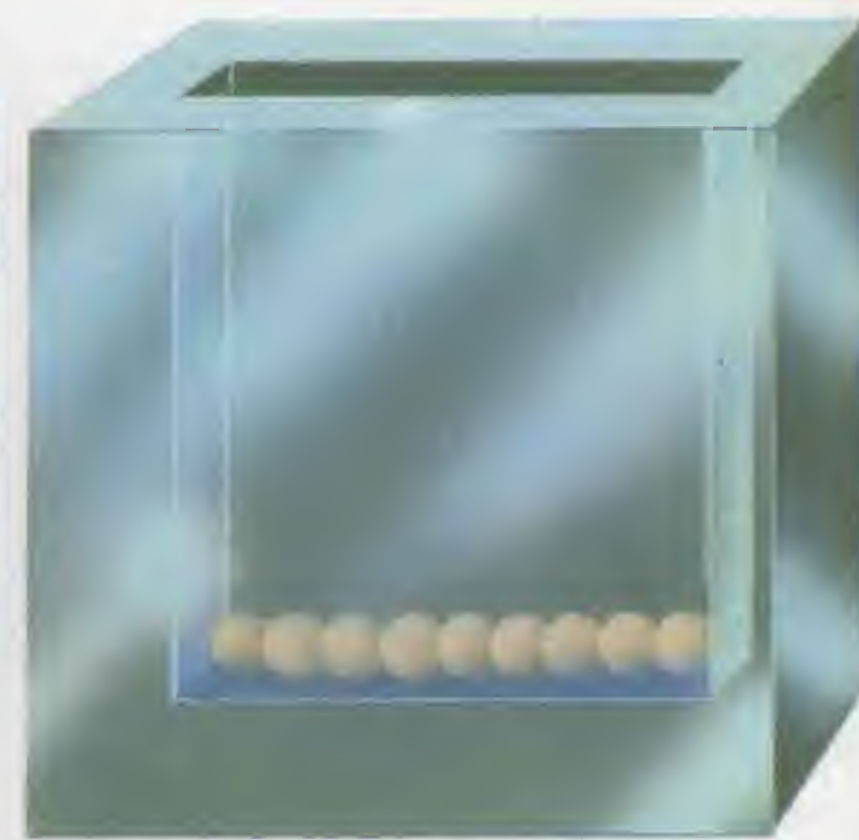
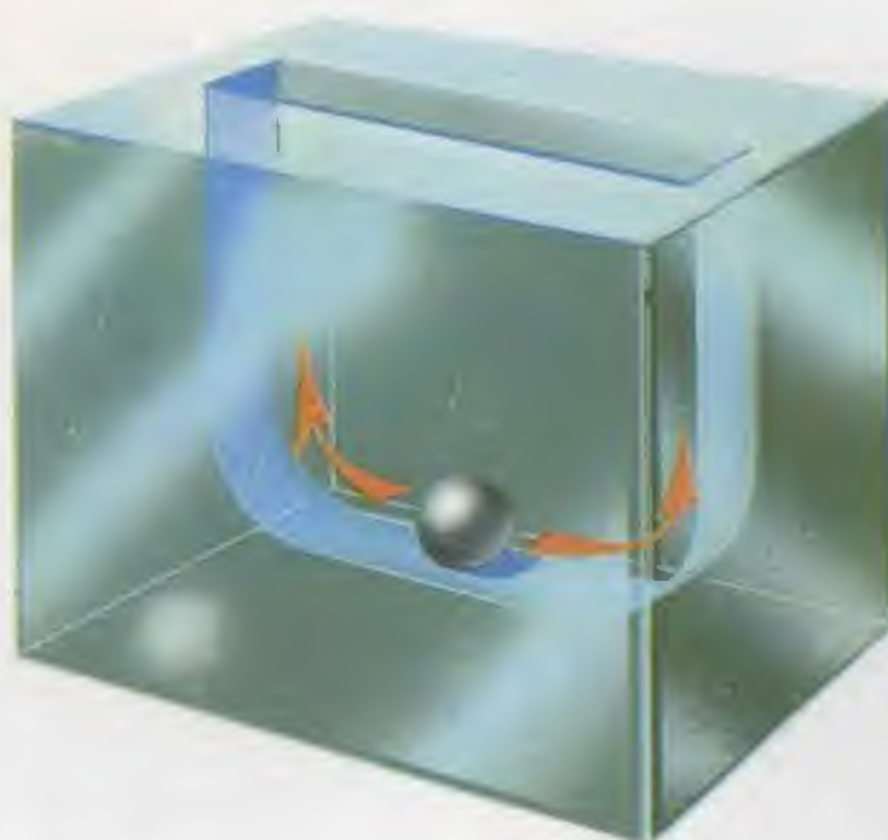
Los principios de invariancia afirman que toda ley física permanece sin variaciones incluso en condiciones distintas. Existen tres principios de invariancia que han tenido una notable importancia en Física. El primero es el de la inversión del tiempo: según este principio, las leyes físicas mantienen su validez independientemente de que la dirección del tiempo transcurra hacia adelante o hacia atrás. El segundo es el principio de conjugación de carga, que afirma que todas las partículas y antipartículas respectivas obedecen a las mismas leyes. El tercer principio

de invariancia es el de paridad (o de reflexión espacial): en un mundo de simetría especular, donde la derecha y la izquierda se intercambiaran, seguirían valiendo las mismas leyes físicas.

Sin embargo, parece que los físicos han descubierto algunos casos que transgreden estos principios de invariancia. El que estas violaciones sean más o menos significativas y su posible ayuda para el conocimiento de otros aspectos de la Mecánica cuántica siguen siendo objetos de estudio.

El principio de indeterminación de Heisenberg Uno de los principios básicos de la Mecánica cuántica es el de indeterminación, enunciado en 1927 por el físico alemán Werner Heisenberg, quien demostró que era imposible determinar simultáneamente la cantidad de movimiento y la posición de una partícula. Se puede determinar una de estas dos magnitudes con precisión absoluta, pero, llegados a este punto, no se puede decir nada de la otra. El principio de indeterminación de Heisenberg deriva, de forma compleja, de la naturaleza cuántica de la materia.

Consecuencias de la Mecánica cuántica La Mecánica cuántica proporciona una

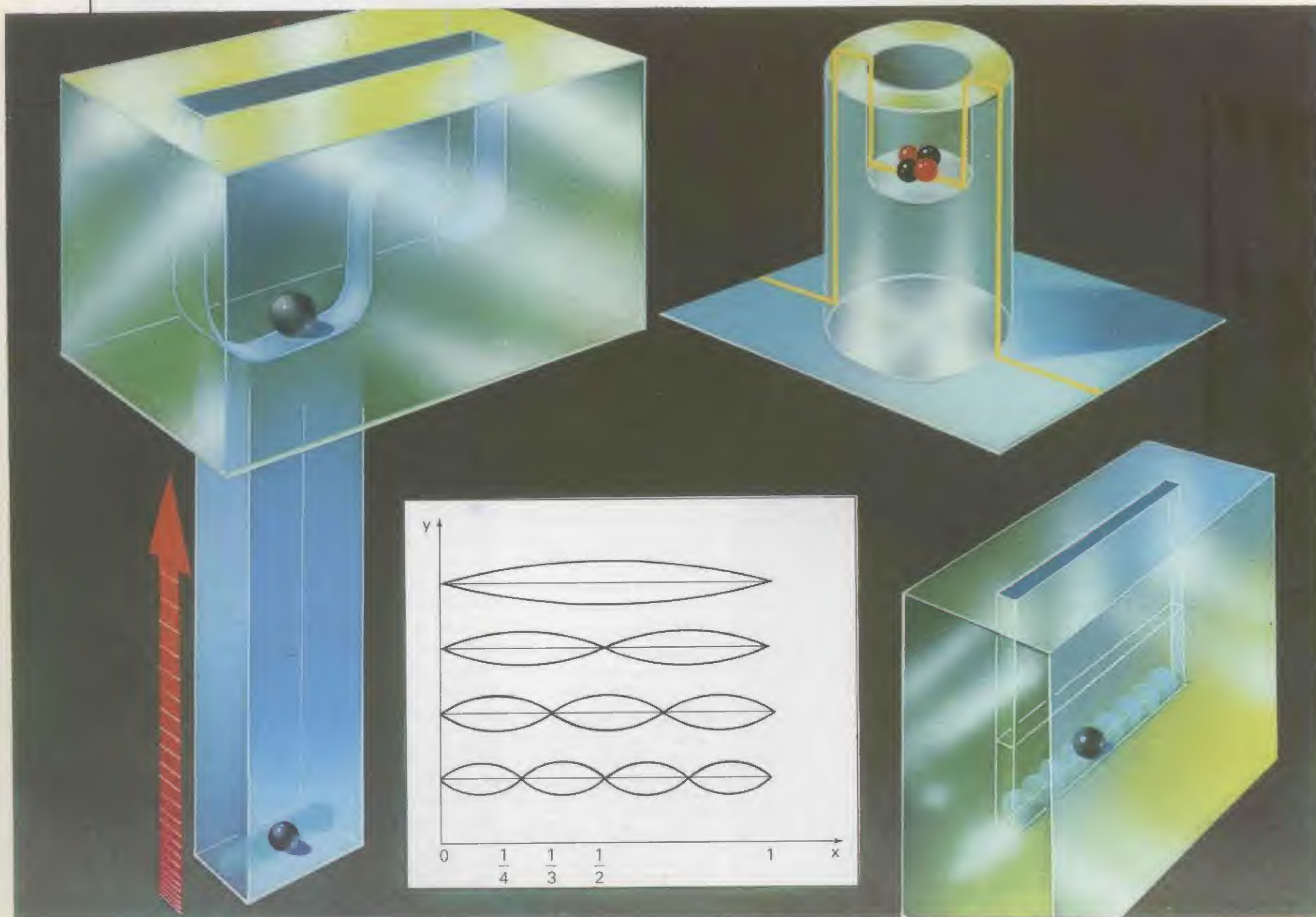


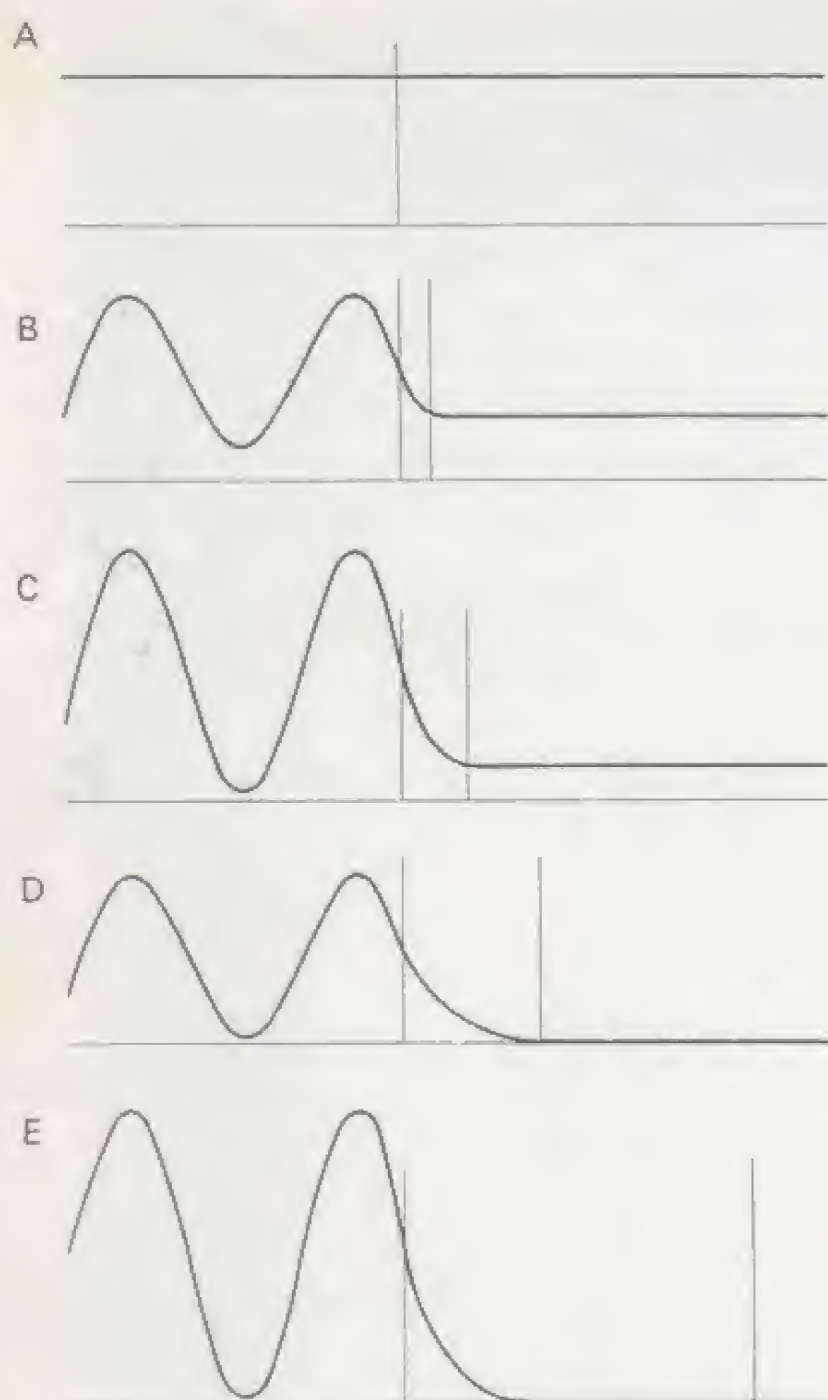
Aquí tenemos una aplicación de la Mecánica cuántica a la solución de algunos problemas relacionados con la Física de partículas. ¿Cuál es la posición de una partícula en un pozo de potencial (arriba a la izquierda)? Podemos imaginar que la partícula es una pequeña esfera en el

fondo de una cavidad donde puede oscilar subiendo por los bordes más o menos, dependiendo del nivel de energía que ha recibido. La solución cuántica se ha representado a la derecha; la probabilidad de encontrar la partícula es máxima en el centro de la cavidad.

Debajo, algunas variantes: a la izquierda, una cavidad doble, en cuyo flanco izquierdo se ha representado la distribución de niveles de energía, que son infinitos pero separados entre ellos, mientras que en el caso clásico los niveles serían continuos; abajo, a

la derecha, pozo de potencial de paredes rectas y, arriba, pozo con simetría de revolución: se utiliza para prever la disminución de actividad radiactiva de los núcleos que emiten partículas alfa. El diagrama demuestra por qué los niveles energéticos son infinitos pero





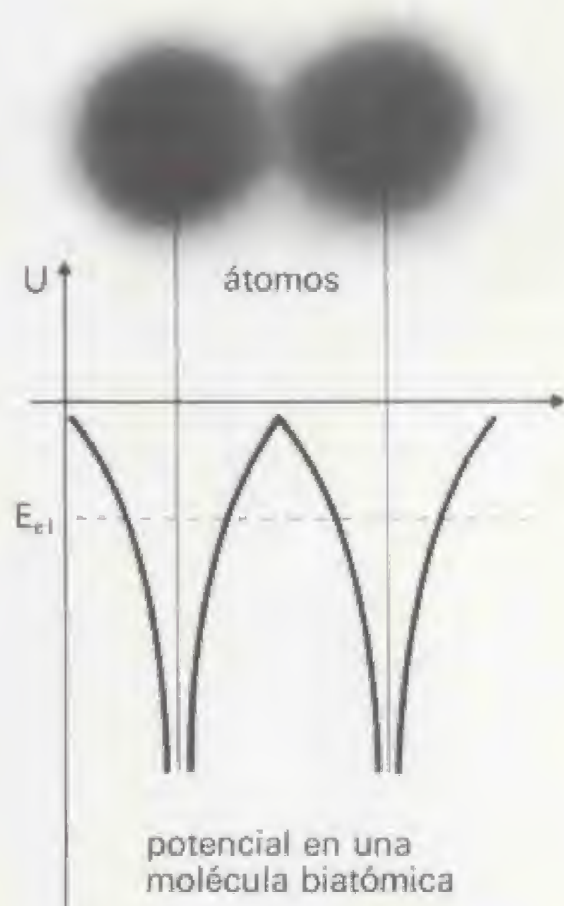
transparencia de la barrera en función de su anchura (la probabilidad de encontrar partículas con energía va desde infinito en A a cada vez menos hacia la derecha de B, C, D y E)

Los diagramas de la izquierda representan el problema del paso de un paquete de ondas a través de una barrera de potencial. Ondas de pequeña amplitud pueden pasar a través de una barrera: de arriba a abajo, la barrera

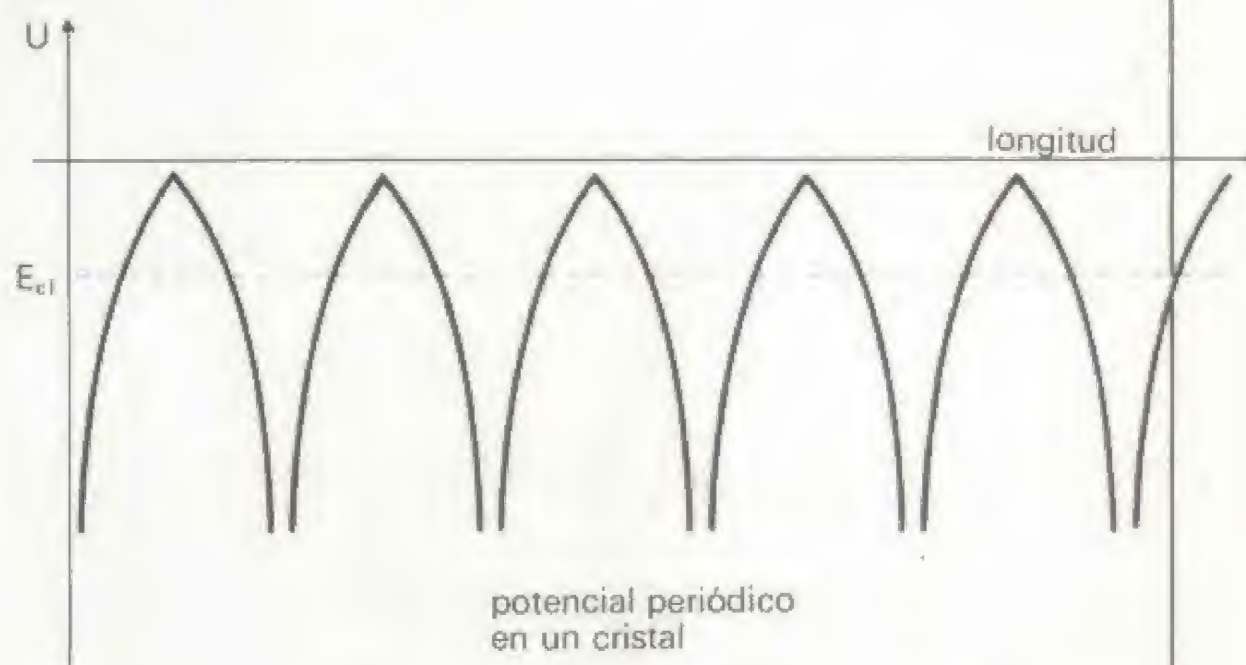
aumenta de espesor y las ondas que la atraviesan son cada vez menos intensas. Al final la barrera es lo suficientemente gruesa como para que la onda transmitida tenga intensidad prácticamente nula. Debajo, en el centro,

molécula biatómica donde los niveles se pueden comparar con dos pozos de potencial (los electrones tienden a quedarse en el fondo); pero los electrones que poseen una cierta energía, indicada aquí con E_{el} , pueden superar la barrera y pasar de un átomo de la molécula a otro. El intercambio de electrones entre estos dos átomos contribuye a la

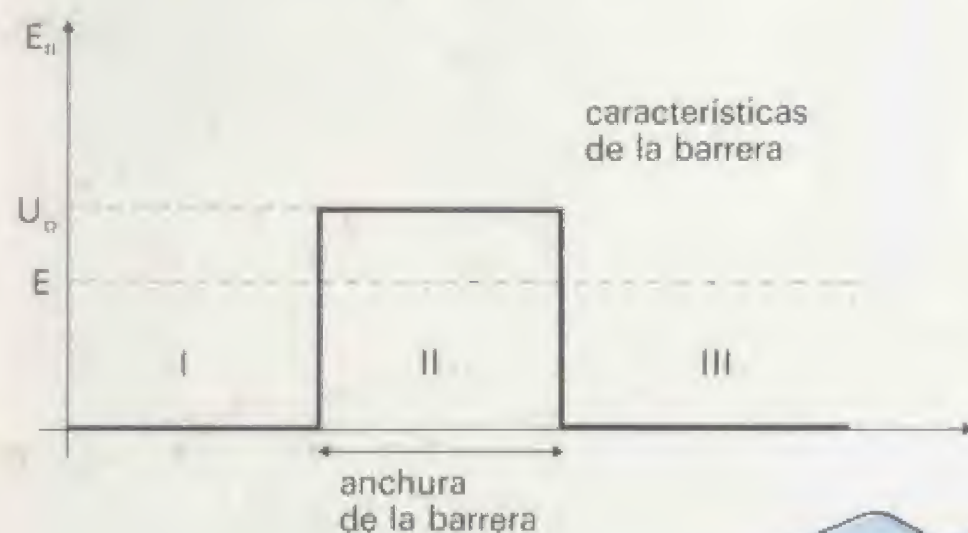
formación del enlace químico y, por tanto, la teoría de la barrera de potencial también es básica en esta importante aplicación. En cambio, el diagrama de la derecha reproduce el potencial periódico de un metal: en este caso la teoría se utiliza para prever la movilidad de los electrones y definir en consecuencia fenómenos como la conducción eléctrica.



potencial en una molécula biatómica

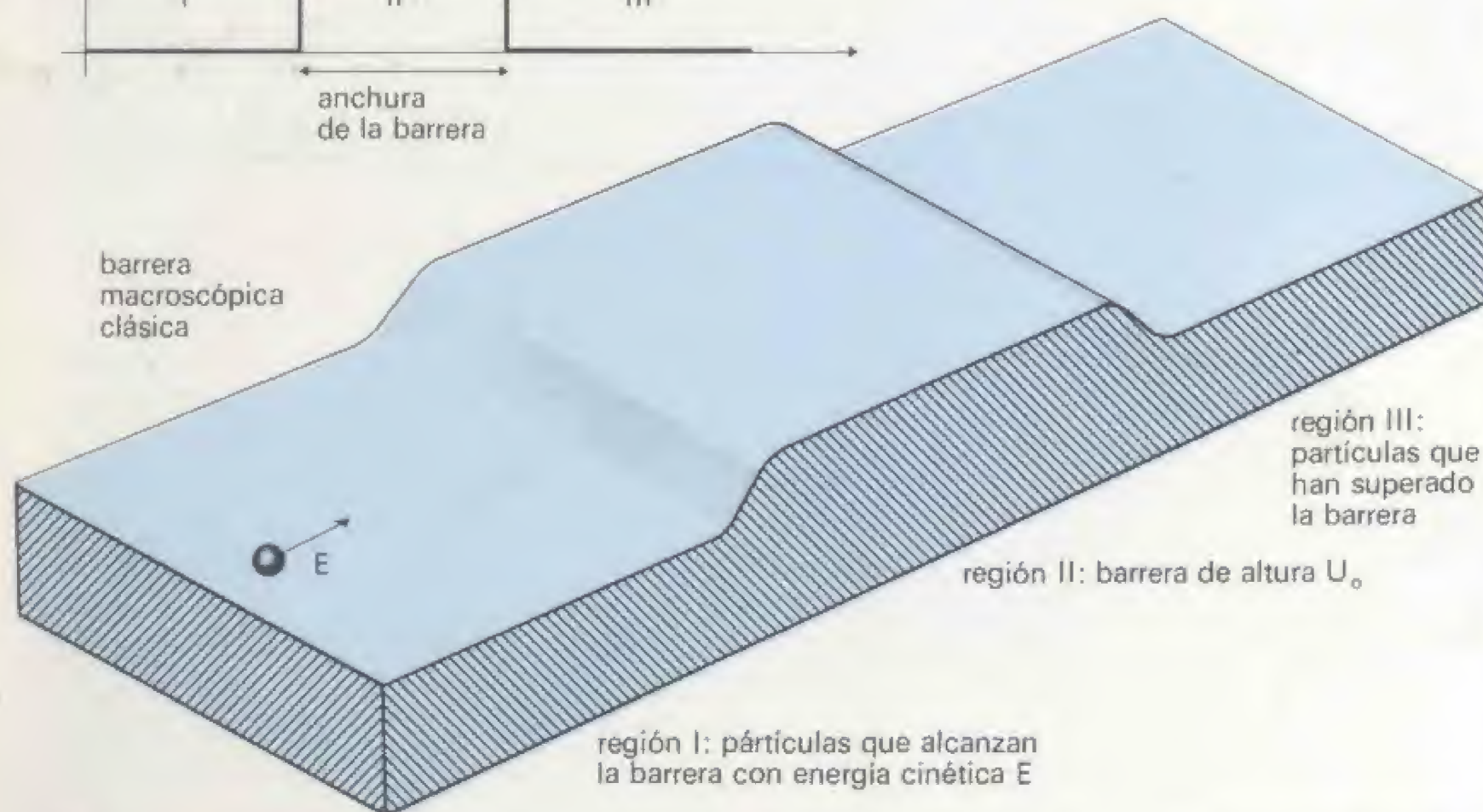


potencial periódico en un cristal



características de la barrera

anchura de la barrera



barrera macroscópica clásica

región III: partículas que han superado la barrera

región II: barrera de altura U_0

región I: partículas que alcanzan la barrera con energía cinética E

discontinuos: la solución que lleva a la definición de niveles de energía es similar a la que establece cuáles son los armónicos de vibración de una cuerda, donde la subdivisión en nodos y vientres puede tomar sólo valores discretos.

El diagrama y el dibujo de aquí arriba comparan los casos cuántico y clásico de la barrera de potencial. En el diagrama la barrera está representada con un escalón, U_0 es el nivel de energía necesario para saltarlo, mientras que

el nivel de energía de la partícula se indica con E . Esta energía no es suficiente para superar la barrera por lo menos desde el punto de vista clásico. En cambio, en el caso microscópico la partícula tiene una cierta probabilidad,

finita, de pasar a la otra parte. Abajo, la comparación clásica: a un desnivel de pequeña altura, por ejemplo de 30 cm con el borde inclinado suavemente, llega una bola que rueda hacia él con una velocidad aproximada

de 10 centímetros por segundo; en la realidad macroscópica la bola no superará el desnivel, aunque aplicando la Mecánica cuántica existe una probabilidad de una billonésima de billonésima de billonésima.

Véase Atomo; Física; Física de partículas; Núcleo atómico; Relatividad, teoría general de la; Relatividad restringida ($E = mc^2$); Teoría cuántica de la luz

Medicina

Hace cientos de miles de años, cuando un hombre tenía que yacer inmovilizado a causa de una pierna rota, o cuando temblaba a causa de la fiebre del paludismo, intervenía un sanador que, con intuición y capacidades particulares, aliviaba los dolores o curaba las enfermedades: de este modo nació y se desarrolló el ejercicio de la Medicina. En las eras prehistóricas la Medicina era considerada como mera magia. El surgimiento de una enfermedad se atribuía a los espíritus malignos, y los curanderos y hechiceros practicaban trepanaciones craneales en los enfermos para permitir la salida de la enfermedad.



Desde los médicos hechiceros (ilustración a la izquierda), que danzaban disfrazados de animales para expulsar los espíritus del mal que se habían apoderado del cuerpo del enfermo, a los médicos de épocas sucesivas, la Medicina ha sido una historia ininterrumpida de la lucha del hombre contra la enfermedad. En la ilustración superior, instrumentos de cirugía de época romana. En la página siguiente, en el centro, ilustraciones presentes en el resumen, en latín, del tratado de *Ginecología* de Sorano de Efeso, utilizado como manual de obstetricia. Debajo, hígado de barro cocido babilonio, utilizado para los presagios.

Desde aquellas épocas el arte y la ciencia médicos han recorrido un largo camino, aunque incluso las técnicas modernas presentan en algunos aspectos unos ciertos residuos "casi mágicos". Algunas de las más fantásticas técnicas son, por ejemplo: imágenes teletransmitidas del feto en el interior del claustro materno, brazos artificiales que se mueven como si fueran auténticos, trasplantes de órganos, microcirugía que une trozos de piel separados, niños concebidos en una probeta, o la ingeniería genética que prácticamente puede cambiar la función natural de una célula. Todavía en fase experimental, existen vacunas contra la caries dental, técnicas regenerativas de miembros amputados, fusión de huesos rotos mediante corrientes eléctricas, etcétera.

La Medicina desempeña tres funciones principales: prevención de la enfermedad, diagnóstico (interpretación de los síntomas e identificación de la enfermedad) y tratamiento (mediante la administración

de fármacos, así como de terapéuticas quirúrgicas).

Historia La historia de la Medicina refleja el conflicto entre la exigencia de ofrecer al mismo tiempo un apoyo moral y un remedio para la curación del cuerpo. La enfermedad fue interpretada por el hombre primitivo como manifestación de los poderes hostiles que su mente animista le hacía creer que anidaban en los fenómenos más diversos de la vida natural. Incluso se le atribuyó el carácter de castigo a transgresiones o incumplimientos de la ley moral.

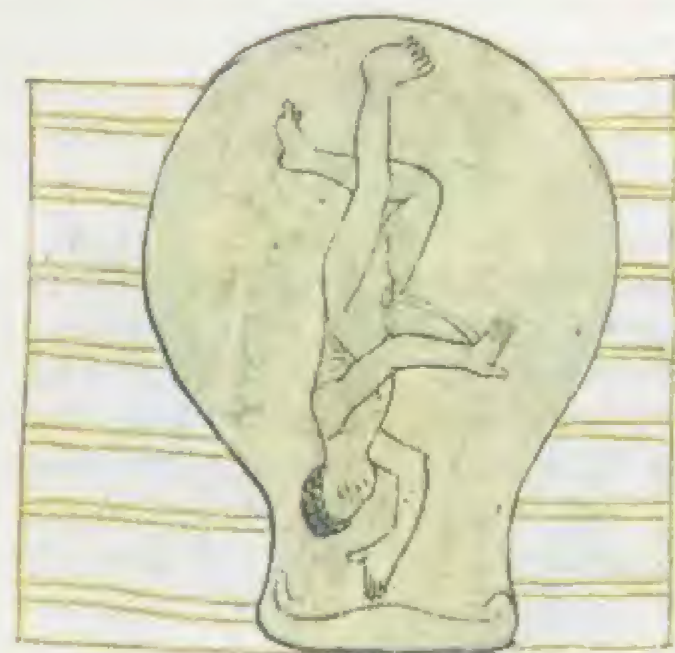
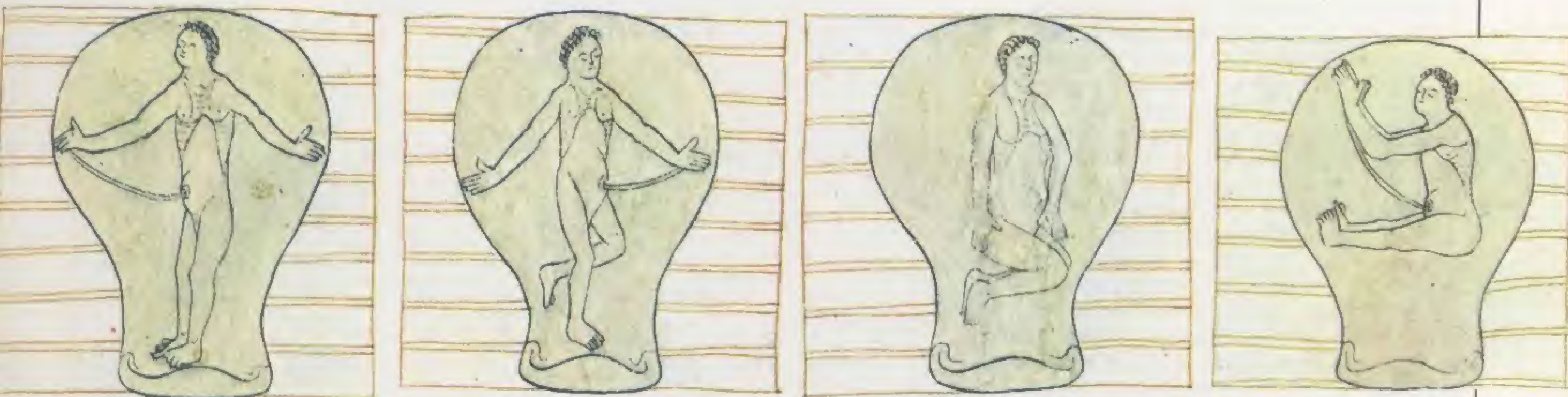
Los curanderos utilizaban hechizos mágicos, talismanes y curas de sueño. Algunos examinaban también las vísceras de ciertos animales, que, según creían, presentaban un paralelismo con la enfermedad del paciente. Con frecuencia, prescri-

bían hierbas, algunas de las cuales son aún hoy utilizadas. Los antiguos egipcios, por ejemplo, utilizaban aceite de ricino, opio y mercurio. Los chinos empleaban hierro y alcanfor, y desarrollaron la acupuntura (todavía en uso), consistente en la introducción de pequeñas agujas en determinadas zonas del cuerpo. Los primeros cirujanos de la antigua India realizaron algunas operaciones, como la reconstrucción de la nariz (la amputación de la nariz era en aquellos tiempos un castigo muy difundido, que se aplicaba a los que cometían delito de adulterio) y la eliminación de cálculos biliares. Los babilonios no creían en los sanadores, por ello tendían a sus enfermos a lo largo de las calles y dejaban que los viandantes diagnosticasen y curasen la enfermedad.

Entre los médicos griegos destaca Hipócrates (siglo V a. de C.), que desarrolló

un código de ética médica recogido en el llamado *Corpus Hippocraticum*. El pensamiento hipocrático niega la causalidad divina de la enfermedad, pues la considera siempre ocasionada por motivos naturales, que producirían una perturbación en la proporcionalidad de los *humores* (sangre, flema, bilis amarilla y bilis negra), cuyo equilibrio armónico sostenía, según Hipócrates, el estado de salud. En la antigua Roma el médico más notable fue, sin duda, Galeno, que retomó la doctrina hipocrática y cuyo criterio, basado en la filosofía aristotélica, se mantuvo vigente durante siglos.

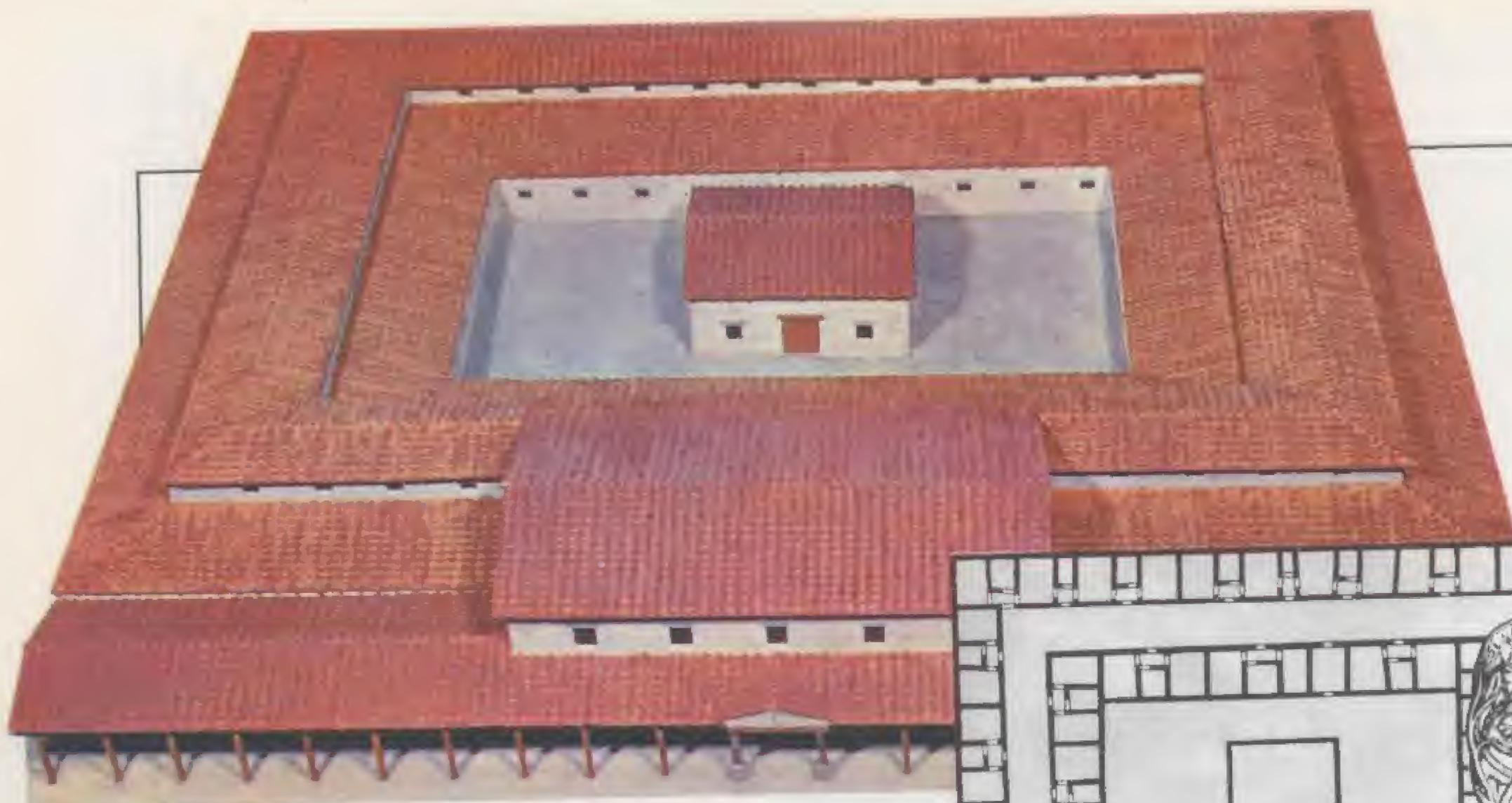
Los romanos se ocuparon sobre todo de la salud pública con fines preventivos mediante la construcción de baños públicos y de sistemas de letrinas y de otros servicios higiénicos. La crisis cultural y científica de los primeros siglos medievales



En Europa hizo que se redujeran el estudio y la práctica de la Medicina, que quedó en manos de algunos miembros de la Iglesia que vivían confinados en los monasterios. De este modo, el cuerpo humano permaneció casi desconocido hasta el siglo XVII, en que los científicos identificaron el sistema circulatorio e inventaron el microscopio. El siglo XVIII señala el desarrollo de los fármacos digitálicos cardiacos, el control del escorbuto y la utilización de la vacuna contra la viruela. En el siglo XIX se encontraron los primeros tratamientos contra el paludismo, la fiebre amarilla y el tifus, se inventó el estetoscopio, se descubrieron las bacterias, y las técnicas antisépticas enriquecieron notablemente el campo médico.

También en el siglo XIX se utilizaron, por primera vez, las vacunas con fines



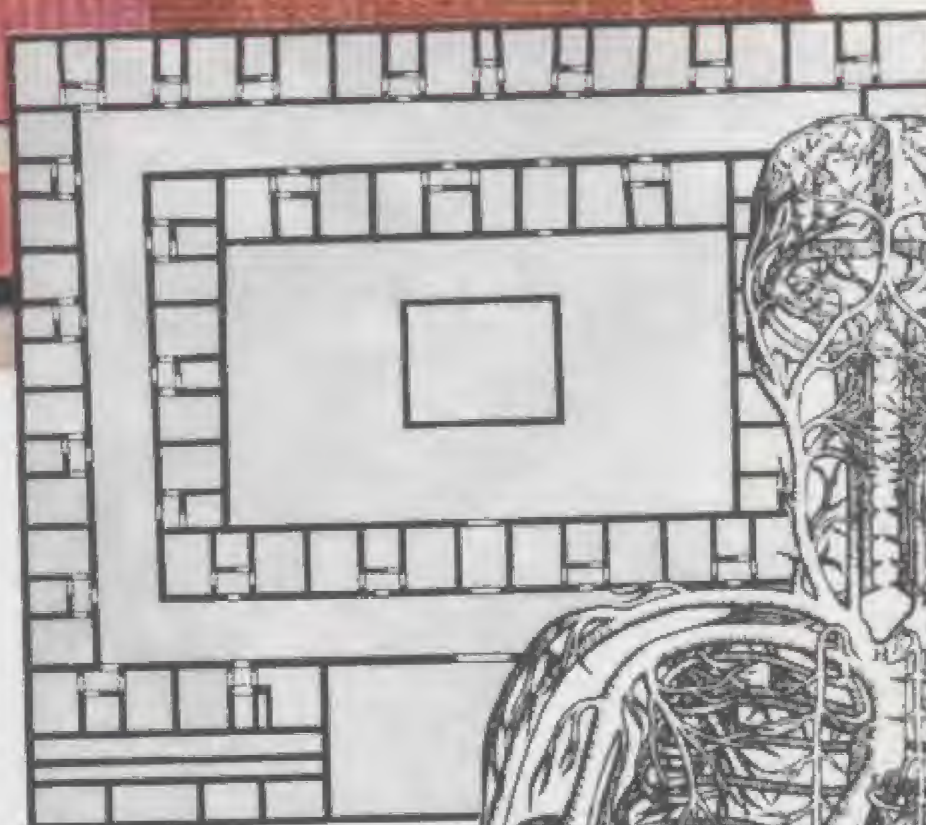


A la izquierda, planta y edificio del hospital militar romano de Vindonissa. Tenía dos filas de habitaciones distribuidas sobre una planta rectangular y separadas por un largo corredor. El hospital poseía también una instalación de calefacción. En la página siguiente, algunos dibujos de la *Anatomía* de Leonardo da Vinci.

preventivos; los anestésicos eran utilizados en cirugía; se descubrieron los rayos X; mientras, Sigmund Freud desarrollaba sus teorías sobre el psicoanálisis. En el siglo XX, los beneficios derivados de esta evolución convergerían en cuatro campos principales: *quimioterapia*, tratamiento de las enfermedades mediante productos químicos; *inmunología*, con vacunaciones para prevenir enfermedades como la poliomielitis, la difteria y el tétanos; *endocrinología*, que comprende el uso de las hormonas, como la insulina en el tratamiento de la diabetes, o la cortisona en el de la artritis; *alimentación* (en particular el descubrimiento de las vitaminas). A todo ello hay que añadir la auténtica revolución en el campo de la cirugía, debida a la introducción de nuevos y sofisticados aparatos como la máquina corazón-pulmón que permite la circulación sanguínea extracorpórea, necesaria en algunas intervenciones de cirugía cardíaca.

Especialidades médicas A medida que la Medicina se hace más eficaz, se incrementa también su complejidad. La figura del médico general que se ocupa del tratamiento de todas las enfermedades ha sido superada, si bien su intervención es aún necesaria para identificar las causas de un síntoma y para dirigir al paciente hacia el especialista más adecuado.

Las principales especialidades médicas comprenden: *anestesiología*, que se ocupa de la administración de fármacos analgésicos durante las intervenciones quirúrgicas; *dermatología*, que estudia las enfermedades de la piel; *neurología*, que diagnostica y trata las enfermedades cerebrales y neuromusculares; *neurocirugía*, que interviene en las enfermedades del cerebro y de la médula espinal; *obstetricia* y *ginecología*, que tratan, respectivamente, del embarazo y el parto y del aparato genital femenino; *oftalmología*, que se ocupa de las enfermedades de los ojos; *ortopedia*, que se refiere al tratamiento de las enfermedades y lesiones óseas; *otorrinolaringología*, que trata de las enfermedades de la garganta, nariz y oídos; *pediatría*, que trata de las enfermedades de los niños; *cirugía plástica*, es decir, recons-



El sistema venoso tal y como aparece en el folio 18 vº del manuscrito Ashmole (abajo), en el folio 4º vº del código trivulciano

(arriba) y en la tabla de la página 268 de la obra de A. Vesalio (en el centro), que se impone por la precisión del dibujo.





trucción de partes del cuerpo mediante intervenciones quirúrgicas; *higiene*, que aplica medidas preventivas consistentes en programas de sanidad pública, estudios de los peligros ambientales, dietas, etc.; *proctología*, que se ocupa del tracto intestinal distal y del recto; *psiquiatría*, que se ocupa de las enfermedades mentales; *radiología*, diagnóstico y tratamiento con los rayos X y otras radiaciones; *cirugía torácica*, es decir, tratamiento quirúrgico del corazón, grandes vasos y pulmones; *medicina interna*, que comprende, a su vez, algunas subespecialidades como *cardiología* (corazón), *endocrinología* (hormonas), *gastroenterología* (estómago, intestino e hígado), *enfermedades infecciosas*, *nefrología* (riñones), *reumatología* (articulaciones) y *neumología* (pulmones).

Los estudios médicos Existen numerosas actividades relacionadas, más o menos directamente, con el campo de la Medicina: Medicina propiamente dicha, otras actividades paramédicas, enfermería, especialidades técnicas, investigación, trabajos administrativos, etc. En la mayor parte de los países, para ejercer la profesión médica se requiere un título universitario obtenido tras varios años de estudio. En España la duración total de la licenciatura en Medicina es de seis años. Durante los últimos años, los estudios teóricos se compaginan con la asistencia a hospitales y el

tratamiento de pacientes bajo la supervisión de médicos cualificados.

Después de la finalización de la carrera, los médicos pueden realizar una especialización cuya duración oscila entre tres y cinco años.

Otras profesiones paramédicas capacitan para el tratamiento de particulares regiones del cuerpo. Un ejemplo lo constituyen los optometristas, que pueden examinar los ojos y prescribir lentes; los psicólogos, que se ocupan de los problemas mentales, etcétera.

La enfermería es la actividad profesional más importante de todas las relacionadas con la Medicina. Tradicionalmente de dominio femenino, son cada vez más frecuentes los hombres que se dedican a esta actividad. A medida que los médicos van siendo cada vez más absorbidos por las actividades puramente inherentes a sus especialidades, las labores de asistencia son confiadas al personal de enfermería bajo la supervisión de los médicos.

Los técnicos se dividen en dos categorías: los que trabajan con los propios pacientes y los técnicos de laboratorio. Los primeros están especializados en la utilización de instrumentos como los aparatos para la radioterapia en el tratamiento de pacientes afectados de tumores; los aparatos para la diálisis, en los que se filtra la sangre, que se aplican a los pacientes con insuficiencia renal grave; los aparatos de

radiología, que efectúan las radiografías de distintas zonas del cuerpo y permiten al radiólogo diagnosticar una enfermedad interna, etcétera.

Los técnicos de laboratorio analizan muestras de sangre o de tejido para determinar la entidad de una enfermedad.

Los investigadores trabajan en laboratorios donde experimentan nuevos fármacos y tecnologías, con frecuencia incluso con experimentación en animales.

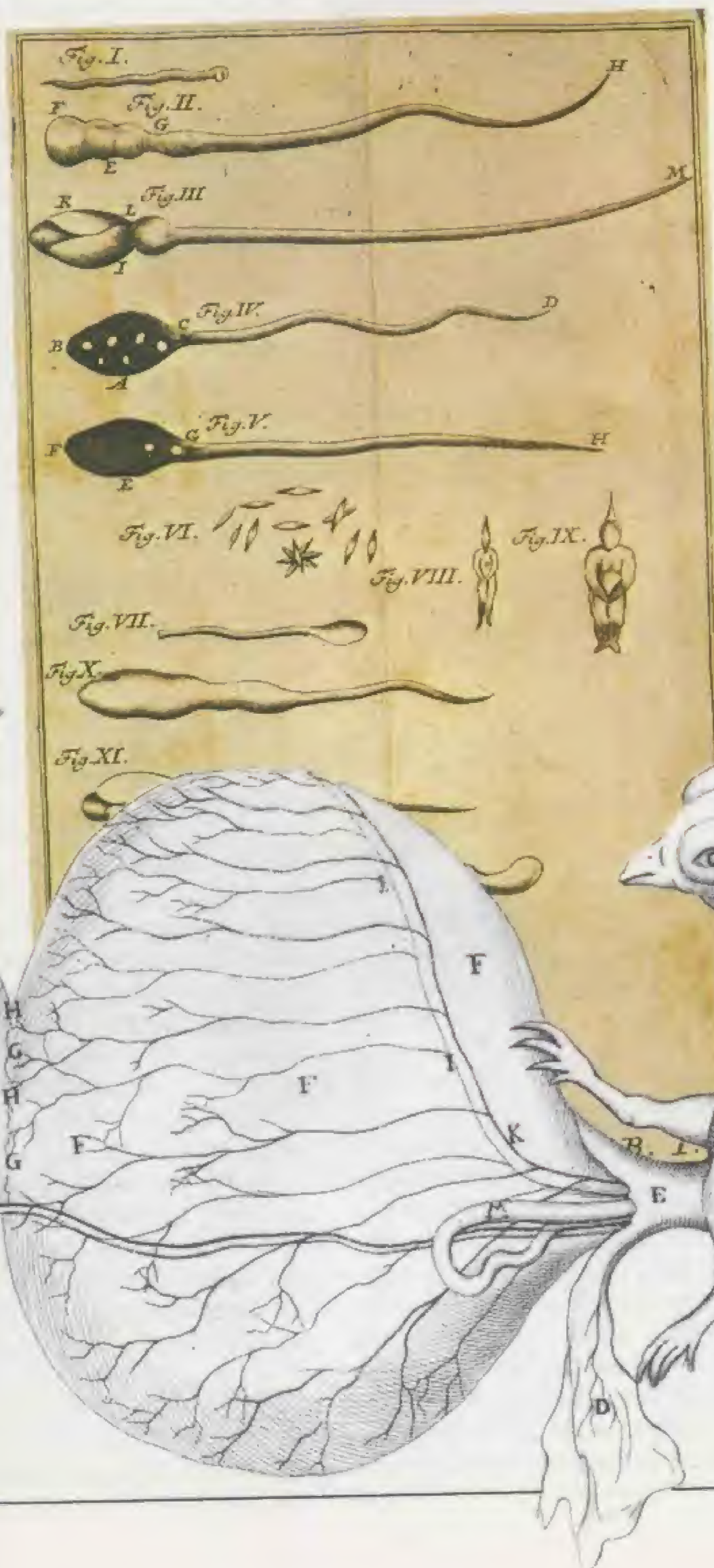
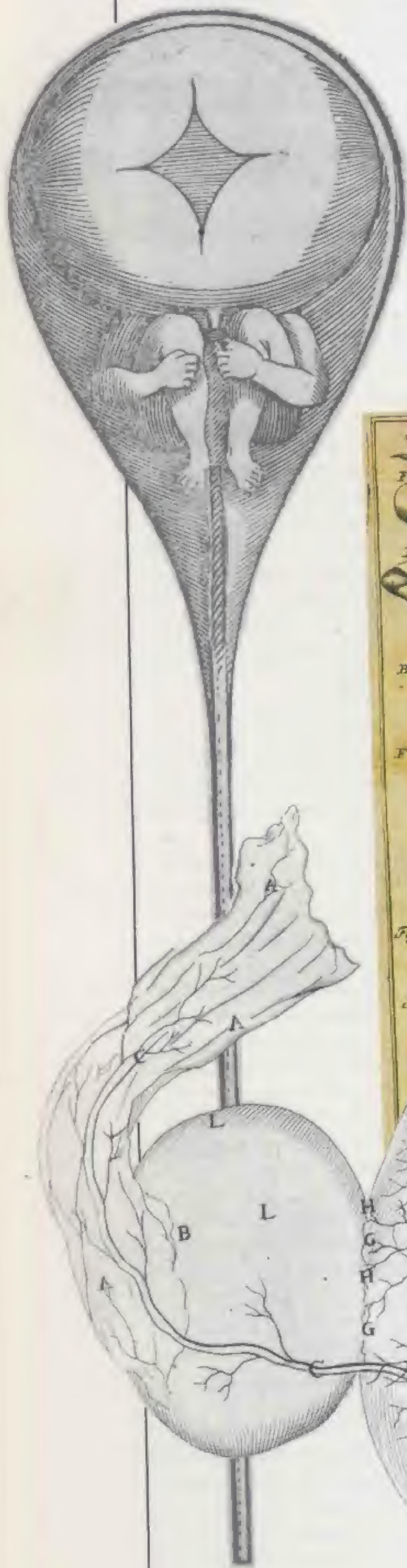
Asistencia sanitaria Los médicos se encuentran entre las categorías profesionales mejor consideradas en la mayoría de los países del mundo. En Estados Unidos, generalmente ejercen su profesión en consultas privadas, de manera individual o reunidos en grupos con especialistas de la misma rama o de ramas complementarias, de modo que puedan ofrecer a los pacientes un completo centro de tratamiento. Muchos otros médicos trabajan en hospitales que les permiten el tratamiento de sus pacientes tanto en consultas como ingresados en una planta. Algunos países, como la Unión Soviética o China, ofrecen una asistencia sanitaria completamente socializada (todo el personal médico está retribuido por el Estado y los pacientes son tratados gratuitamente). En Gran Bretaña todos los ciudadanos están protegidos por el National Health Service y tienen opción a tratamiento médico gratuito por parte de médicos generales. En la mayor parte de los países europeos occidentales la asistencia médica está, al menos en parte, socializada.

En África y en algunas partes de Asia existe una notable carencia de personal médico especializado. En Nigeria y en Nepal existe aproximadamente un médico por cada 100.000 personas; en la India, uno por cada 6.000 personas; en Gran Bretaña, uno por cada 1.000; en Estados Unidos, uno por cada 800; en Israel y en la Unión Soviética, uno por cada 450. Los países subdesarrollados no son capaces de mantener el coste de una organización sanitaria eficiente, por lo que sus poblaciones precisan con frecuencia la ayuda sanitaria de los países desarrollados. La mayor parte de las enfermedades de los países subdesarrollados (tuberculosis, sífilis, tifus, cólera, paludismo) podría ser completamente vencida con los fármacos descubiertos en los últimos 60 años.

Diagnóstico Se entiende por diagnóstico la averiguación, por parte del médico, de la enfermedad que sufre un enfermo a través de los síntomas y de los datos proporcionados por técnicas bacteriológicas, radiológicas, etc. Tres investigaciones principales llevan al diagnóstico: la anamnesis, el examen objetivo y los exámenes de laboratorio. La *anamnesis* la proporciona el propio paciente, y consiste en una relación de las enfermedades tenidas en el pasado y en la descripción de su estado de salud en el momento presente. El *examen objetivo* es la exploración que el médico efectúa mediante la inspección, la

Extracción de la punta de una flecha del cuello: miniatura de la *Cirugia del maestro Ruggero* de la Facultad de Medicina de Montpellier. Abajo, a la izquierda, ilustración tomada del *Essay de dioptique* en la que puede verse un pequeño feto contenido en la cabeza del espermatozoide. En

el centro, tabla I de la *Historia de la generación del hombre y de los animales*, de A. Vallisnieri, en la que se aprecian, al lado de una serie de espermatozoides, dos "homúnculos" completamente formados. Abajo, polio casi formado, tomado del *De ovo incubato*, de M. Malpighi.



palpación, la percusión y la auscultación. Tal examen puede efectuarse con el auxilio de algunos instrumentos: el estetoscopio, para auscultar el corazón y los pulmones; el otoscopio, para observar los oídos y la nariz; el oftalmoscopio, para analizar el ojo; el esfigmomanómetro, para determinar la presión arterial; el termómetro, para controlar la temperatura; y el martillo, para verificar los reflejos. El equipamiento diagnóstico de un especialista es, sin embargo, mucho más elaborado. La obstetricia, por ejemplo, puede utilizar la ecotomografía para controlar el crecimiento del feto en el interior del seno materno. Esta técnica —hoy en día utilizada como alternativa a los rayos X, que pueden ser dañinos para el feto— consiste en la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia (denominadas *ultrasonidos* y que no pueden ser percibidas por el oído humano) que alcanzan los órganos internos, cuya imagen es posteriormente proyectada en una pantalla de televisión. Con los ultrasonidos pueden ser también diagnosticadas enfermedades como los tumores del estómago y los cálculos biliares. El médico internista posee también un nuevo instrumento de diagnóstico, la tomografía axial computadorizada (TAC), que proporciona detalladas imágenes de las secciones más internas de un órgano mediante radiografías.

El cardiólogo puede determinar si las arterias son permeables o si la actividad cardíaca es regular insertando un catéter en una vena o arteria. Un líquido radioopaco es posteriormente inyectado en la zona en examen a través del catéter, previamente al disparo de la radiografía. Otra técnica comúnmente utilizada es la ecocardiografía, que, como la ecotomografía, utiliza ondas sonoras para estudiar el interior del corazón. La electrocardiografía (ECG), por el contrario, registra la actividad eléctrica del corazón.

El interior del estómago, del intestino o de los pulmones puede ser explorado por medio de un tubo flexible introducido a

través de la boca del paciente. Estos tubos, diseñados de manera que la imagen pueda viajar a través de todas las curvas y ángulos, se denominan *endoscopios de fibra óptica*.

Cuando el médico combina los instrumentos de exploración con los *trabajos en el laboratorio*, los resultados son sorprendentes. La amniocentesis, por ejemplo, permite tomar muestras del líquido amniótico que rodea al feto en el seno materno, y el subsiguiente análisis del líquido permite determinar la presencia de enfermedades congénitas como el síndrome de Down. Con este mismo estudio es posible establecer el sexo del feto. Algunas sustancias del organismo (sangre, orina, pus, pequeñas muestras de tejido) pueden aportar a los técnicos del laboratorio datos para el diagnóstico de una enfermedad. El examen de la sangre, por ejemplo, puede indicar la existencia de muchas y distintas situaciones: desde la anemia al cáncer.

Tratamiento Una vez identificada la enfermedad, el médico decide el tratamiento, que puede consistir en una terapéutica quirúrgica, en una terapéutica médica o en otras formas de terapéutica. Si, por ejemplo, un examen revela una enfermedad cardíaca, el médico determina su importancia y, a continuación, prescribe un tratamiento, generalmente un régimen dietético de bajo contenido en colesterol y ejercicios físicos controlados.

En los casos en los que, por el contrario, el daño consista en una arteria que se encuentre gravemente ocluida, el médico puede decidir el tratamiento mediante intervención quirúrgica para insertar un *bypass*, es decir, la extirpación de un pequeño trozo de una vena de la pierna y su implantación en el corazón con el fin de sustituir la arteria enferma u ocluida.

Si a un paciente se le diagnostica un cáncer, el médico puede prescribir tanto un tratamiento quirúrgico como otra forma de tratamiento (radioterapia, quimioterapia). No obstante, son tratamientos que



Los intentos de realizar transfusiones sanguíneas se remontan a los siglos pasados: en la ilustración superior, experimento de transfusión e instrumental utilizado; experimento llevado a cabo por Denis en 1667. A la derecha y arriba, el corazón con

las venas cavas abiertas y el arco de la aorta seccionado. Las ilustraciones han sido tomadas del tratado *Sobre el corazón*, de Lower (Leiden, 1722). Abajo, ilustración —del tratado de Luigi Saco— que muestra un brazo con pústulas en el que se ha practicado un injerto.

no permiten llegar a una solución de curación total, debido a las numerosas incógnitas que aún existen en torno a esta enfermedad. Los investigadores saben con certeza que no se trata de una enfermedad única, que sigue cursos diferentes, que puede surgir por causas distintas, y que responde a diversos tratamientos, como la radioterapia y algunas terapéuticas médicas. Entre los nuevos tratamientos del cáncer, aún en fase de experimentación, se incluyen la vitamina A, el interferón (sustancia producida espontáneamente por el organismo para combatir las infecciones) y la termoterapia (llevar la temperatura corporal a 42 °C). También la crioterapia (fuerte enfriamiento) ha dado resultados eficaces. El arma más reciente es el láser, en la actualidad utilizado comúnmente para destruir tejidos precancerosos en el útero.

Muchas enfermedades son ahora conocidas y curables, e incluso las excepciones más relevantes —como el cáncer y las enfermedades cardíacas— responden a menudo de modo positivo a algunos tratamientos.

Los pacientes que no pueden ser completamente curados son con frecuencia capaces de llevar una vida normal mediante un control constante de su enfermedad, gracias a tratamientos médicos, dietas especiales y otros métodos. Inclu-



so las enfermedades mentales, como la esquizofrenia, responden positivamente a dietas especiales y a la administración de vitaminas; tratamientos médicos con fármacos nuevos han permitido incluso a algunos pacientes abandonar los sanatorios. Los médicos están en la actualidad dirigiendo sus acciones curativas en todas las direcciones, incluso para el tratamiento de fetos en particulares condiciones, como es el caso de la hidrocefalia (aumento de la cantidad de líquido cefalorraquídeo), que puede ser drenada mediante la introducción de un catéter en el abdomen de la madre.



A la derecha, microscopio utilizado por Golgi para sus estudios histológicos. Arriba, tres preparaciones histológicas obtenidas por Camilo Golgi con su método de la "reacción negra". Las ilustraciones proceden del museo histórico de la Universidad de Pavia. A la izquierda, sala con los instrumentos utilizados por Pasteur en sus investigaciones.



Prevención Muchos médicos y profesionales sanitarios sostienen que la mejor arma contra las enfermedades es la prevención.

En los países industrializados está actualmente estandarizada la práctica de vacunaciones sistemáticas a los niños contra enfermedades como la poliomielitis y la difteria. Gracias a los esfuerzos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), una sección de las Naciones Unidas, algunas enfermedades, como la viruela, han sido completamente erradicadas. La actividad de la Medicina preventiva no se limita a la eliminación de algunas enfermedades, sino que se ocupa también del mejoramiento de las condiciones sanitarias generales, operando en tres sectores principales: higiene del ambiente, contención del incremento demográfico, campañas para la creación de hábitos más saludables. El creciente conocimiento de las amenazas para la salud del hombre existentes en el ambiente (aire, agua, basuras y contaminación) ha hecho necesario adoptar algunas medidas, aunque son muchos los que opinan que el medio ambiente corre todavía un grave peligro que afecta directamente al bienestar y a la salud humanas.

Un 86% de los habitantes del campo de los países en vías de desarrollo consume aguas no potables, y, en las ciudades, sólo el 28% de la población vive en condicio-

nes higiénicas satisfactorias. Estas situaciones facilitan la aparición y la difusión de enfermedades como el tifus, la hepatitis y el cólera.

Otra amenaza para la salud la constituyen las situaciones de hacinamiento. En 1930 la población mundial era de 2.000 millones de personas. Hoy supera los 4.000 millones y, si continúa creciendo con este ritmo, en el año 2000 será de 7.000 millones de personas. Paralelamente al crecimiento de la población se asiste a una disminución de los recursos naturales. Un creciente número de personas se encuentra ante cantidades decrecientes de alimento, espacio y energía, de lo que resultan situaciones de hambre, enfermedades y violencia.

Los expertos en Medicina preventiva mantienen que los hábitos influyen notablemente sobre la salud, y por ello recomiendan reducir el *stress*, beber menos alcohol, dejar de fumar y seguir dietas alimentarias con pocas grasas, sales y azúcares, y que sean ricas en cereales, fruta y verdura; todo ello acompañado por el ejercicio físico.

El futuro Se espera que en un futuro las heridas sean cicatrizadas con un *spray* que las recubrirá con una nueva piel; que corazones artificiales funcionen alimentados por baterías; que los ciegos puedan ver a través de pequeñas cámaras insta-

ladas en los ojos; que los sordos puedan oír con la ayuda de electrodos ajustados a sus oídos; que la caries pueda ser vencida con *sprays* y vacunas; que cada individuo tenga una dieta personal establecida por un ordenador con arreglo al examen de sus exigencias.

Todavía más excitantes son, si cabe, los desarrollos del nuevo sector de la Ingeniería genética. Los genes pueden ser comparados a los programas de un ordenador: indican a cada célula qué es lo que debe hacer.

La Ingeniería genética interviene sobre los genes modificando el código natural. Por ejemplo, si el gen que estimula a las células pancreáticas para producir insulina se inserta en una célula bacteriana, dicha bacteria comenzará la producción de insulina. Esto resultaría particularmente útil para los diabéticos, cuyo organismo produce espontáneamente una cantidad insuficiente de insulina. La Ingeniería genética comienza a ser empleada para la producción de interferón, otra sustancia presente en los organismos sanos y que se utiliza a nivel experimental en el tratamiento del cáncer.

La utilización de los anticuerpos monoclonales permitirá la preparación de auténticas "pelotillas mágicas", capaces de intervenir con absoluta precisión sobre los tejidos enfermos (a los que son conducidas por los propios anticuerpos).

La introducción en los anticuerpos monoclonales de fármacos antitumorales podrá hacer de estas estructuras un preparado antitumoral de acción decisiva.

Finalmente, los médicos quizá lleguen a ser capaces de extraer unas pocas células sanas de un hígado enfermo y de programarlas para que crezcan hasta formar un nuevo hígado.

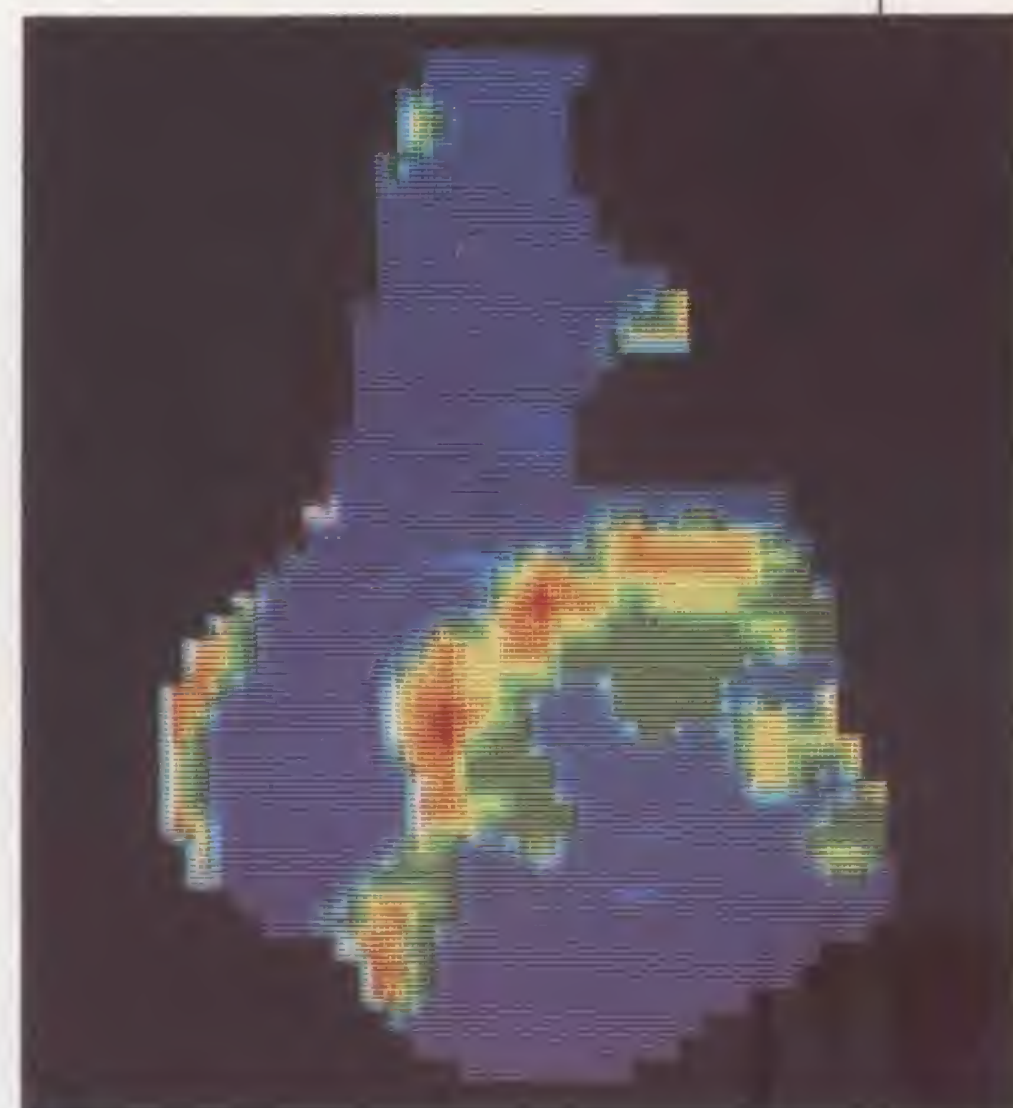
Posiblemente llegará también el día en que los científicos podrán modificar algunas características innatas, como las emociones, la inteligencia, los músculos, la fuerza, la altura o el color de los cabellos; o bien podrán incluso llegar a crear un ser

ideal. Al igual que muchos de los progresos tecnológicos del siglo XX, también la revolución en el campo médico ha logrado rebasar las concepciones éticas. La Ingeniería genética podrá hacer posible la creación de un ser ideal, pero ¿quién establecerá cuál es el ideal? Los médicos pueden saber si un niño nacerá deforme, pero ¿quién decidirá si hay que efectuar un aborto?

La instrumentación de que se dispone en hospitales puede mantener con vida a los pacientes bombeando su sangre, filtrando su orina, a veces también realizando las funciones respiratorias, pero ¿quién

decide *qué* es la muerte? ¿Cuándo se puede considerar que un hombre ha muerto: cuando deja de respirar, cuando su corazón cesa de latir o cuando su cerebro deja de funcionar? ¿Quién ayuda al paciente moribundo y a sus familiares?

Parece como si el aspecto humano y más espiritual de la Medicina estuviera desapareciendo en favor de un impresionante desarrollo de lo puramente científico. No obstante, muchos de los profesionales que trabajan en torno al mundo de la Medicina se interesan por este problema. Organizaciones humanitarias, por ejemplo, ayudan a los pacientes enfermos



La evolución tecnológica del presente siglo ha permitido al diagnóstico médico efectuar grandes progresos: a la izquierda, primera radiografía de la historia de la Medicina. Fue realizada por el físico alemán Wilhem

Röntgen, el 22 de diciembre de 1895, en la mano de una mujer. La imagen de los huesos puede apreciarse de modo muy claro, mientras que los tejidos blandos aparecen algo difuminados. Arriba, imagen escintigráfica del corazón elaborada con ordenador.

sin curación a morir serenamente, en los hospitales o en sus casas.

Paralelamente, muchos hospitales están instalando centros de nacimiento para padres que deseen un parto según los métodos tradicionales. En estos centros la familia completa puede tomar parte en el "milagro" del nacimiento en un ambiente acogedor, pero que al mismo tiempo dispone de todo el equipamiento necesario para atender a la madre o al niño en casos de emergencia.

Véase Bioingeniería; Cáncer; Cardiología; Endoscopia; Gen; Genética; Ginecología; Láser; Pediatría; Psiquiatría; Reanimación; Tomografía axial computerizada (TAC); Trasplante de órganos

Medicina alternativa

La expresión *medicina alternativa* ha alcanzado recientemente gran difusión para designar una serie muy heterogénea de sistemas médicos distintos de la Medicina científica moderna que existen en las sociedades desarrolladas actuales. Inspirada directamente en el vocabulario político inconformista, implica el riesgo de confundir dentro de un mismo epígrafe realidades radicalmente diversas por su significado teórico y sus repercusiones prácticas.

Para enfocar adecuadamente la cuestión es necesario recordar que todas las sociedades humanas tienen que enfrentarse con el problema de la enfermedad. La Medicina es precisamente el resultado de dicho enfrentamiento, es decir, la tarea de luchar contra las enfermedades y favorecer la salud. Sin embargo, no todas las colectividades han resuelto del mismo modo el problema. Conviene partir de una perspectiva amplia que nos permita tener en cuenta las distintas formas con las que la Humanidad ha respondido y continúa respondiendo al reto de la enfermedad. Lo contrario significaría concebir de manera muy limitada una tarea tan multiforme como la Medicina. En especial, debemos evitar reducirla a las características peculiares de la Medicina científica moderna, que es el sistema actualmente dominante —pero no el único— en las sociedades desarrolladas occidentales.

Los sistemas médicos existentes hoy en día y los que se han dado a lo largo de la historia se basan en tres fundamentos diferentes: las creencias mágicas y religiosas, el empirismo o práctica ciega y los saberes científicos. De hecho, los dos primeros se presentan siempre asociados en una serie de formas de Medicina, que durante muchos milenios fueron las únicas. Suelen denominarse *sistemas médicos empírico-creenciales*, en contraposición a los *científicos o racionales*, de origen comparativamente más reciente.

La aparición de las medicinas racionales no significó el final de la lucha contra las enfermedades basada en las creencias mágicas y religiosas asociadas a prácticas empíricas. Por el contrario, ha sobrevivido hasta la actualidad en dos niveles: el primero de ellos constituido por el folclor médico y el segundo, por numerosas formas de medicina más complejas, que se apoyan en combinaciones variables de religión, magia y empirismo. Las causas de esta supervivencia son muy diversas. Entre las más importantes figura el costo de la asistencia médica científica moderna, que es siempre más cara y resulta prohibitiva para los pobres si no hay una seguridad social bien organizada. Además, para dar preferencia a la Medicina científica moderna, con todas sus limitaciones, hace falta una educación sanitaria que no es frecuente, por desgracia, ni entre los pobres ni entre los ricos. Los fracasos diagnósticos y terapéuticos de la propia Medicina científica moderna son otra gran razón; los enfermos incurables, los crónicos que pasan largo tiempo sin experi-

mentar mejoría y los que han sido mal atendidos por los médicos, desde el punto de vista técnico o humano, son clientes habituales de todo tipo de curanderos.

En el folclor médico o medicina popular de las sociedades desarrolladas pueden distinguirse dos grandes estratos. El más profundo está integrado por elementos primitivos, coincide en lo fundamental con la medicina prehistórica y la de los pueblos primitivos actuales y, además, es básicamente igual en todos los países. El más superficial procede de la asimilación, por parte de cada pueblo, de aspectos de las culturas con las que ha convivido a lo largo de su historia, desde la más antigua, hace miles de años, hasta las más recientes: este segundo estrato no tiene correspondencia con las formas primitivas de medicina y es muy variable, pues depende de la tradición histórica de cada país.

Al estrato primitivo de la medicina popular corresponden las interpretaciones de las enfermedades en función de fenómenos mágicos y religiosos, como el *embrujo* por malas artes de brujas y hechiceros, la posesión por un diablo o espíritu inmundo, el *castigo divino* a consecuencia de un pecado o el *maleficio* por personas con "poderes" extraordinarios. Ejemplo típico de este último es el "mal de ojo", que se supone debido a personas cuya sola mirada provoca desgracias y que sirve para explicar muchas dolencias y muertes, tanto de niños como de adultos.

Las formas más sencillas de este tipo de creencias son quizá las analogías y "simpatías" mágicas, que consisten en conceder significados ocultos a parecidos, a relaciones meramente externas u ocasionales. Así, se achacan las malformaciones anatómicas de un recién nacido a que su madre no ha satisfecho determinados deseos o "antojos" durante el embarazo; se afirma que la luz de la luna puede dejar a los niños "alunados", es decir, tontos o ciegos; se atribuye la presencia de numerosas verrugas a haber contado las estrellas.

El nivel profundo del folclor médico no excluye la observación de causas naturales, aunque su relación con las enfermedades suele ser arbitraria, como sucede con fenómenos tan usuales como las corrientes de aire, los enfriamientos, los sustos, los disgustos, etc.

El diagnóstico recurre a formas de adivinación tan variadas como las de la medicina primitiva; así ocurre con los diagnósticos por "simpatía" a través de pelos, recortes de uñas o ropa íntima usada de los enfermos.

En la terapéutica se combinan métodos mágico-religiosos (conjuros, ensalmos, exorcismos, oraciones y ritos penitenciales) con el empleo de masajes, baños, calor, intervenciones quirúrgicas menores y una amplia serie de productos naturales, sobre todo vegetales, con propiedades curativas reales o imaginarias. En la prevención de las enfermedades desempeñan una función destacada los talismanes —que son objetos cuya acción depende de su propia materia, como los imanes y



Caricatura alemana del siglo XVIII alusiva a la creencia y práctica del "magnetismo animal", de F. A. Mesmer (E. Holländer, *Die Karikatur und Satire in der Medizin*, Stuttgart, 1905).

La acupuntura, antiquísima forma de tratamiento médico oriental, se basa en principios de carácter filosófico, como el de la energía vital, es decir, el yin y el yang, y el de los cinco elementos que reflejan los ritmos de la Naturaleza. En la ilustración que aparece bajo estas líneas, extraída del *Specimen medicinae*

Sinicae, sive opuscula medica ad mentem Sinesium, se aprecia la oposición de los canales a través de los que circula la energía, tanto en sentido centrífugo como en sentido centripeto. A lo largo de esos canales se encuentran unos puntos en los cuales, actuando mediante la acupuntura, se puede potenciar o disminuir la energía.



las piedras preciosas— y también los amuletos, que deben sus propiedades a la forma que tienen, la inscripción que llevan, etcétera.

El estrato superior del folclor médico demuestra la sorprendente capacidad popular para conservar a lo largo de los siglos aspectos de las culturas con las que ha convivido. Algunos son restos de religiones paganas o componentes más o menos ortodoxos del cristianismo y también del judaísmo y el islamismo. Otros son doctrinas de origen remoto, como la astrología —que procede de Mesopotamia— o la interpretación de las enfermedades a base de alteraciones de los humores del organismo, que fue formulada en la Grecia antigua. También hay versiones, a menudo pintorescas, de elementos más recientes, propios de la Medicina científica moderna. El pueblo es capaz, incluso, de conservar al pie de la letra frases enteras de textos médicos. El refrán "A grandes males, grandes remedios" procede de un libro médico griego del siglo V a. de C., y "De grandes cenas están las sepulturas llenas" es un fragmento de un tratado de la escuela médica medieval de Salerno.

Resulta indispensable tener en cuenta la medicina popular para organizar eficazmente la asistencia sanitaria. Sin conocer el vocabulario popular tocante a la enfermedad y su curación, el médico no puede siquiera entender a sus pacientes. Si desea que sus indicaciones sean respetadas y resulten eficaces, debe tener noticias de las ideas y costumbres relacionadas con la Medicina y, todavía más, si aspira a combatir los prejuicios y prácticas populares perjudiciales para la salud.

Desde la aparición de las medicinas racionales hasta el momento presente, además de la medicina popular, ha habido sistemas médicos más complejos basados también en la religión, la magia y el empirismo. En la Grecia clásica —cuna de la medicina racional europea— existían, entre otras muchas, las curaciones relacionadas con los cultos a los dioses Asclepio y Dioniso. Numerosos enfermos peregrinaban a los santuarios de Asclepio, que estaban situados en lugares de clima agradable y bello paisaje. Disponían de alojamiento y de instalaciones recreativas, deportivas y para baños y masajes. Los enfermos eran también sometidos a un régimen dietético, pero la curación propiamente dicha se desarrollaba en el rito llamado de la *incubación*, que tenía lugar en unas galerías vecinas al templo; se suponía que el dios visitaba al paciente mientras este dormía y lo sanaba personalmente o a través de su serpiente o sus sacerdotes. El culto a Dionisio consistía fundamentalmente en orgías rituales, en las cuales los fieles llegaban a un estado transitorio de locura o delirio mediante la embriaguez alcohólica y la danza a un ritmo frenético. En dicho estado se alcanzaba un éxtasis, que se interpretaba como unión con el dios, que sanaba las enfermedades.

Las formas de medicina mágico-religiosa vigentes en la Edad Media europea

procedían de la Antigüedad clásica pagana, de pueblos prerromanos, como los celtas, y de los pueblos germánicos invasores. Los cristianos, al convertirse su religión en la oficial, asimilaron la medicina científica antigua; sin embargo, en las sociedades cristianas, lo mismo que en las de la Antigüedad clásica, junto a la medicina racional perduraron las prácticas curativas basadas en fuerzas ocultas o sobrenaturales. Las compatibles con la religión oficial fueron cristianizadas más o menos profundamente; casi todos los santuarios de Asclepio permanecieron, por ejemplo, bajo la advocación de algún santo. Por el contrario, las que chocaban con los principios cristianos fueron perseguidas, al ser consideradas como supersticiosas, diabólicas e inmorales.

En el período contemporáneo, el recurso a fuerzas ocultas con fines médicos reviste, en ocasiones, un aspecto falsamente científico. Un ejemplo típico es el llamado *magnetismo animal*, doctrina que fue formulada por el austriaco F. A. Mesmer a finales del siglo XVIII. Supone, sin prueba alguna, la existencia en todos los organismos animales de un fluido magnético, que puede ser manipulado para curar las enfermedades mediante simples imanes o con artificios más complicados. Como tal, ha continuado hasta la actualidad en manos de curanderos.

La Medicina científica europea tuvo su punto de partida en la Grecia clásica y, en su forma actual, se constituyó a lo largo de un proceso iniciado en la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII y que no alcanzó plena madurez hasta el XIX. El núcleo fundamental de dicho proceso fue irse despojando de la especulación como base metodológica, sustituyéndola por los recursos de la ciencia moderna, en especial la de carácter experimental. Sin embargo, hay otras culturas que han desarrollado sistemas médicos científicos o racionales. Se trata principalmente de las llamadas *medicinas clásicas asiáticas*, creadas en la India y en China, y que han persistido hasta la actualidad en sus países de origen, conviviendo con la medicina europea. Por otra parte, la influencia de las medicinas china e india ha sido decisiva en los demás países del Extremo Oriente asiático. A la propia Europa ha llegado dicho influjo desde muy antiguo y se expresa, incluso a nivel popular, en la difusión más o menos rigurosa de la acupuntura china y el yoga indio.

Pese a sus grandes diferencias, las medicinas clásicas china e india tienen algunos rasgos esenciales comunes. Reúnen una gran cantidad de observaciones sobre el organismo humano, sus enfermedades y su tratamiento, y las interpretan mediante sistemas racionales que relegan a segundo término los elementos mágicos y religiosos. Sin embargo, las interpretaciones no están sometidas a un método riguroso experimental, sino que son más bien especulaciones de carácter filosófico.

Los textos más antiguos de la medicina clásica india son las colecciones atribui-

Esta figura de madera con el rostro pintado sirve para alejar los demonios y la enfermedad entre los bapende de Zaire.



das a Sushruta y Charaka, redactadas seguramente en el siglo I a. de C., y enriquecidas y reelaboradas con posterioridad. En ellas se expone una doctrina del funcionamiento del cuerpo humano en estado de salud y enfermedad que insiste en la armonía o el desequilibrio de aliento o aire (*prana*) y de los humores *pitta* (bilis) y *kapha* (flema o moco).

Entre los textos antiguos de la medicina clásica china el más importante es el *Nei Ching* o *Canon de Medicina Interna*, atribuido al emperador legendario Huang Ti. Su redacción original es anterior a nuestra era, pero ha sido ampliado después hasta convertirse en una gran enciclopedia de cuarenta volúmenes.

Las doctrinas chinas acerca de la salud y la enfermedad conceden gran relieve a la relación entre dos principios opuestos: el *yang* (positivo, cálido, seco) y el *yin* (negativo, frío, húmedo). Suponen que ambos principios se distribuyen por todo el cuerpo a través de unos canales especiales o *chin* y que las alteraciones de este flujo conducen a las enfermedades. Uno de los medios para restablecer la correcta distribución de ambos principios, y con ello la salud, es precisamente la acupuntura, que consiste en introducir en la piel agujas muy finas, calientes o frías, de oro, plata o acero, cuya longitud oscila entre tres y veinticinco centímetros. En el *Nei ching*, se describen las nueve agujas tradicionales y su uso, así como los trescientos sesenta y cinco puntos en los que puede practicarse la acupuntura. Carece de fundamento la creencia de que la práctica de la acupuntura se ha introducido recientemente en Europa y América. Por ejemplo, durante la primera mitad del siglo XIX alcanzó una difusión muy superior a la actual en varios países europeos.

Añadamos, por último, que entre las "medicinas alternativas" suelen incluirse también sistemas médicos que son corrientes heterodoxas de la Medicina científica moderna europea. La más importante es, sin duda, la Homeopatía.

Véase **Homeopatía; Medicina**

Medicina deportiva

Las lesiones de los ligamentos, las luxaciones y un gran número de otros traumatismos dolorosos son efectos frecuentes del ejercicio físico y de la práctica deportiva. Estimulada por una difusión y una participación pública crecientes, especialmente después de la II Guerra Mundial, la Medicina deportiva se ocupa principalmente de los problemas concernientes a la recuperación de los deportistas lesionados.

Los tratamientos a los que se someten los atletas abarcan desde terapéuticas más o menos groseras, como puede ser el estiramiento de los talones para aliviar un espasmo en la espalda, hasta delicadas intervenciones quirúrgicas, por ejemplo, en una rodilla lesionada.

Muchas especialidades médicas, como la cardiología o la ortopedia, han mejorado sus tratamientos de los traumatismos ocasionados por las prácticas deportivas. De modo paralelo, nuevas técnicas permiten hoy a los médicos la rehabilitación de muchos de sus pacientes de manera que sean aptos para reemprender su actividad deportiva. Otros numerosos factores han contribuido al explosivo crecimiento de esta disciplina. Los investigadores que estudian la fisiología del ejercicio proporcionan informaciones extremadamente útiles para los entrenamientos y para el mantenimiento de buenas condiciones físicas de los atletas. Así, estudian cómo inciden sobre las actividades deportivas la dieta, el envejecimiento y los factores ambientales

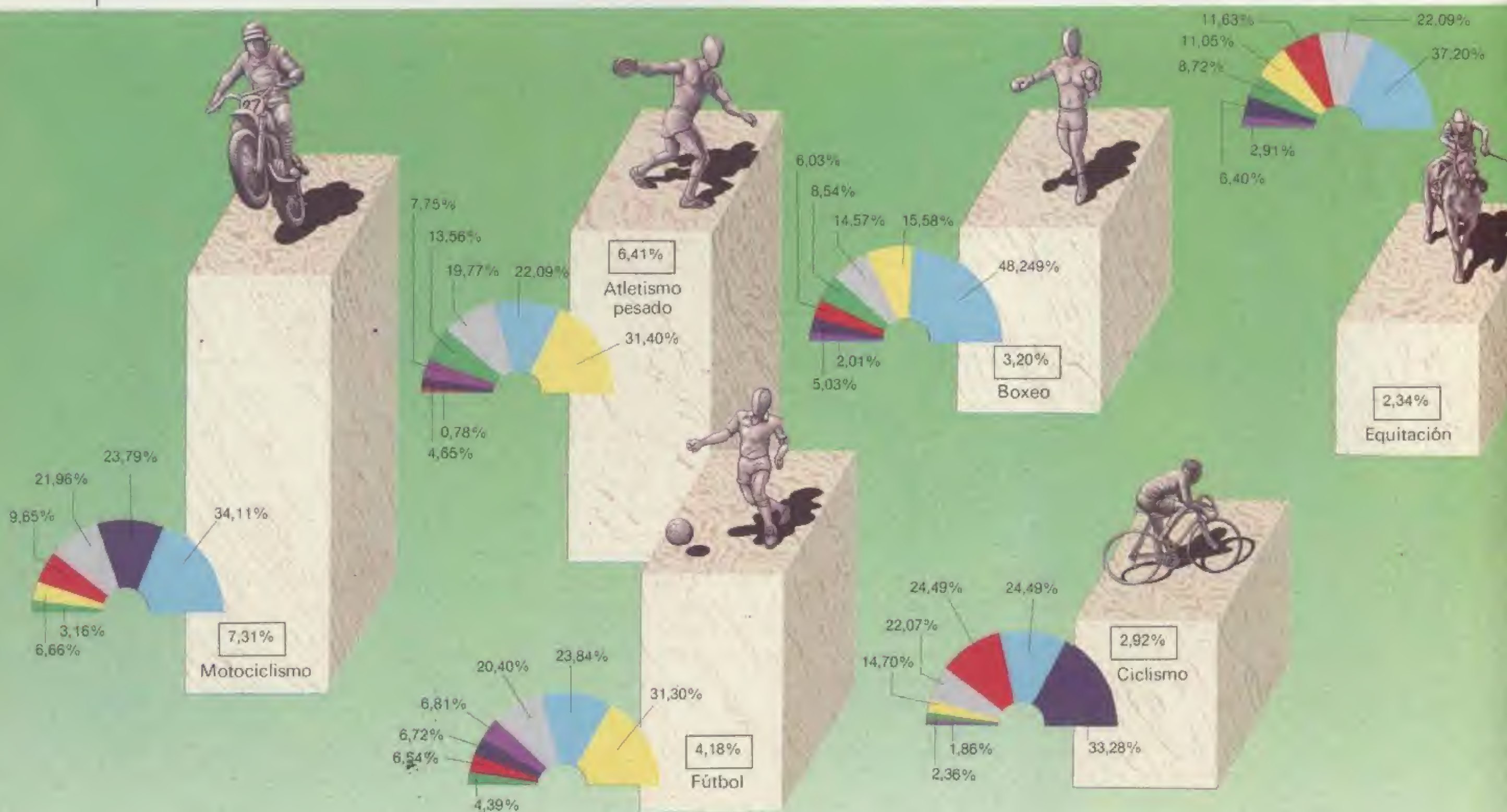
(el calor, la humedad, la contaminación atmosférica).

Sistemas de estimulación Muchos de los mayores progresos se han logrado observando el cuerpo humano desde el punto de vista de la ingeniería. Los especialistas estudian a los atletas sobre películas filmadas para comprender mejor qué músculos, ligamentos y tendones (todos los elementos sometidos potencialmente a un eventual traumatismo) están implicados directamente en un determinado deporte. Los atletas deben mantener un equilibrio entre la fuerza requerida para actividades a niveles superiores y la elasticidad necesaria para prevenir estiramientos, distensiones y desgarros musculares. Observando el cuerpo humano como un conjunto de distintos segmentos, los especialistas en Medicina deportiva han comprendido cómo la distorsión de una zona del organismo (por ejemplo, un pie) puede originar trastornos en otras zonas (por ejemplo, la pierna, la rodilla o el muslo). Tratando la distorsión primaria con ejercicios específicos, intervenciones quirúrgicas o prótesis, los médicos pueden corregir también los trastornos secundarios. En los últimos años la incidencia de traumatismos causados por el deporte ha experimentado un notable aumento. Los médicos opinan que las personas que pasan súbitamente de una vida sedentaria a una vida activa poseen grandes riesgos de sufrir tales traumatismos. En efecto, mu-

chos médicos deportivos recomiendan someterse a un examen mediante pruebas de esfuerzo que revelen la reacción del corazón, de los pulmones, de los grandes vasos, de las articulaciones y de los músculos durante el ejercicio. Los atletas profesionales se someten de manera constante a este tipo de exámenes antes del comienzo de la temporada deportiva, y en estas ocasiones se les proporciona un programa de ejercicios concebido para preparar el organismo y prevenir la aparición de lesiones. Cuando un atleta se lesiona, el tratamiento comienza a menudo en el mismo lugar donde se realiza la actividad deportiva, con la intervención del médico que enfría y comprime la zona dañada. Los tipos de traumatismo varían según el deporte practicado.

En los deportes en los que es frecuente el choque, como el boxeo o el rugby, la Medicina deportiva utiliza las técnicas de los departamentos de emergencia de un hospital para el tratamiento de los traumatismos (provocados, en estos casos, por un choque violento). Sin embargo, en los deportes en los que no existe este tipo de encontronazos, muchos problemas surgen de la repetitividad de algunos movimientos (como sucede, por ejemplo, en el tenis).

Nuevas tecnologías Los nuevos métodos y equipamientos ayudan a los médicos deportivos a desarrollar más eficazmente sus actividades. El artroscopio, por



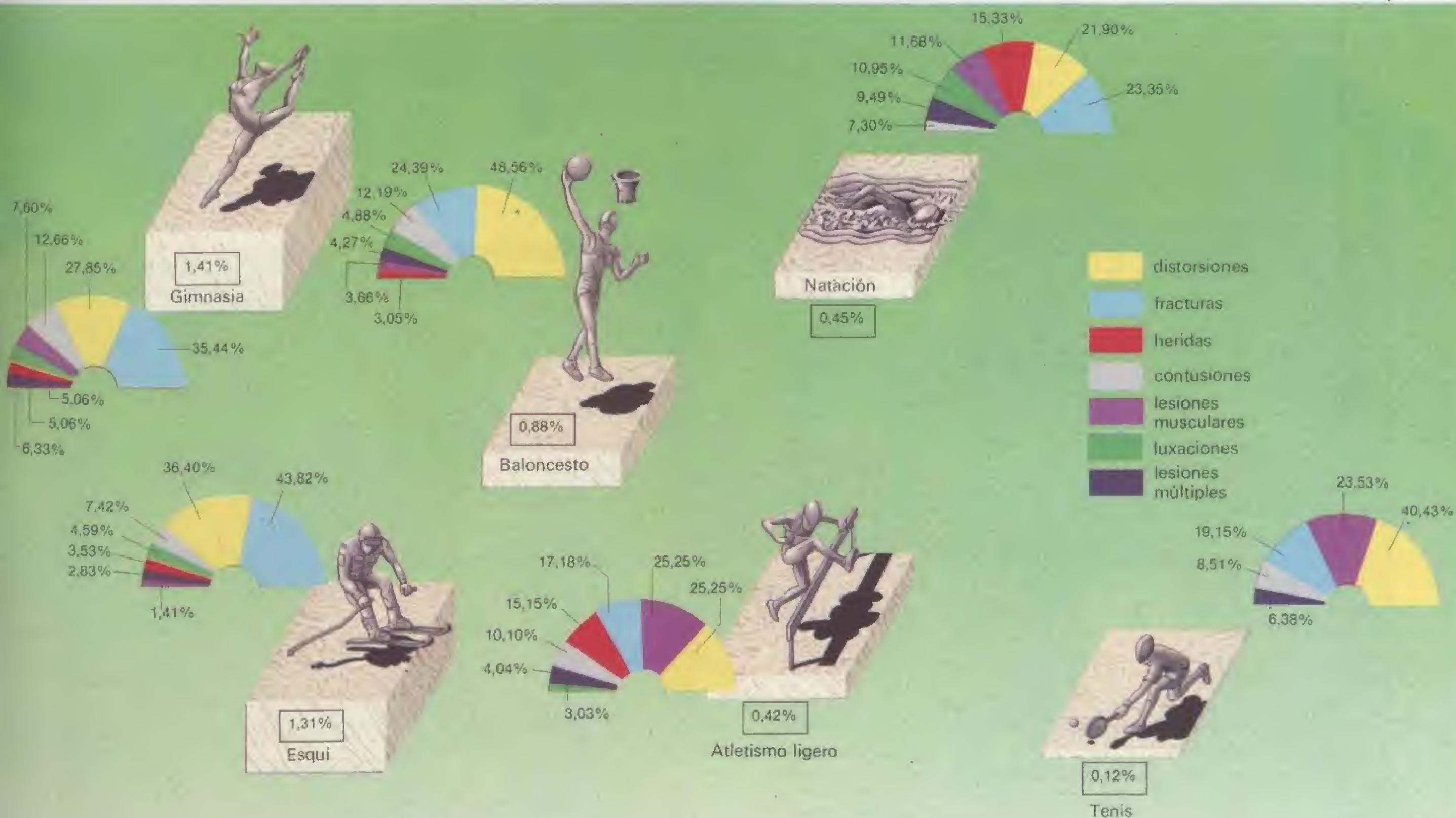


ejemplo, es un instrumento que permite al cirujano la exploración del interior de una articulación lesionada y la intervención quirúrgica a través de una pequeña incisión. Para las alteraciones articulares del pie se han creado en ortopedia prótesis modeladas, llamadas *plantares*, que se adaptan al pie para corregir desequilibrios físicos. La cooperación entre científicos deportivos e industriales ha posibilitado la realización de mejores equipamientos protectores para deportes como el fútbol americano y el hockey sobre hielo. Si bien la mayoría de las personas considera que no es ético influenciar las actividades deportivas con la utilización de fármacos, los científicos deportivos han desarrollado instrumentos menos discutibles para ayudar a los atletas a mejorar su rendimiento. Por ejemplo, un procedimiento innovador, denominado *análisis biomecánico*, utiliza instrumentos computadorizados y fotografías de alta velocidad para medir la fuerza y los movimientos de un tenista en el momento de realizar un saque o de un jugador de golf al lanzar la pelota. Con la ayuda de este tipo de informaciones, los atletas pueden corregir sus defectos y mejorar sensiblemente su rendimiento.

Véase **Cuerpo humano; Medicina**

Bajo estas líneas, frecuencia anual media de las lesiones y su naturaleza en algunos deportes.

A la izquierda, foto estroboscópica que pone de manifiesto los movimientos en un "saque" de tenis.



Medicina interna

La expresión "ir al médico" evocaba hasta hace no mucho la imagen amigable del médico de cabecera, conocido y estimado por la mayor parte de la gente. Con la rápida expansión de la ciencia médica, gracias a los progresos logrados, la figura del médico de cabecera ha sido en gran parte sustituida por una enorme variedad de especialistas.

Cirujanos, pediatras, ginecólogos, psiquiatras, internistas y muchos otros especialistas están capacitados para tratar todos los procesos que pudieran afectar al organismo humano.

El organismo en su conjunto La Medicina interna es el área de especialización médica que se ocupa del diagnóstico y tratamiento, con medios distintos de los quirúrgicos, de las enfermedades que afectan a los órganos internos del hombre adulto (los niños tienen sus propios especialistas, llamados *pediatras*).

En otros términos: el internista interviene en los trastornos que afectan a los órganos internos; al contrario que el cirujano, que opera quirúrgicamente sobre esos órganos.

Existe otra diferencia importante entre el internista y el cirujano. El cirujano puede verse a veces en la obligación de operar, en casos de urgente necesidad, a personas de las que desconoce su historial médico, a excepción del problema inmediato. Los internistas, por el contrario, mantienen una mayor relación con el paciente, cuyo historial médico deben conocer y seguir, del mismo modo en que lo hacía el médico de cabecera.

Naturalmente, los internistas deben dominar todo lo que se refiere a los distintos sistemas orgánicos (por ejemplo, los aparatos digestivo, respiratorio, circulatorio), dado que la enfermedad de un determinado aparato puede manifestarse en otro.

Áreas de especialización de la Medicina interna Un directivo que sufre un infarto de miocardio, una ama de casa con diabetes, un joven afecto de cáncer de pulmón, un taxista con úlcera, un profesor con artritis reumatoide, todas estas personas tienen una cosa en común: sufren enfermedades que pueden ser tratadas por los internistas, los cuales se han especializado en cada una de estas ramas de la Medicina interna.

Las víctimas de los infartos de miocardio o los pacientes que sufren otros trastornos cardíacos son tratados por los internistas especializados en *cardiología*.

Los diabéticos, cuya enfermedad deriva de la insuficiencia de una hormona llamada *insulina* (un problema del sistema endocrino), se someten a los tratamientos de un *endocrinólogo*.

La *oncología* es el área de la Medicina interna que está combatiendo en la batalla contra el cáncer.

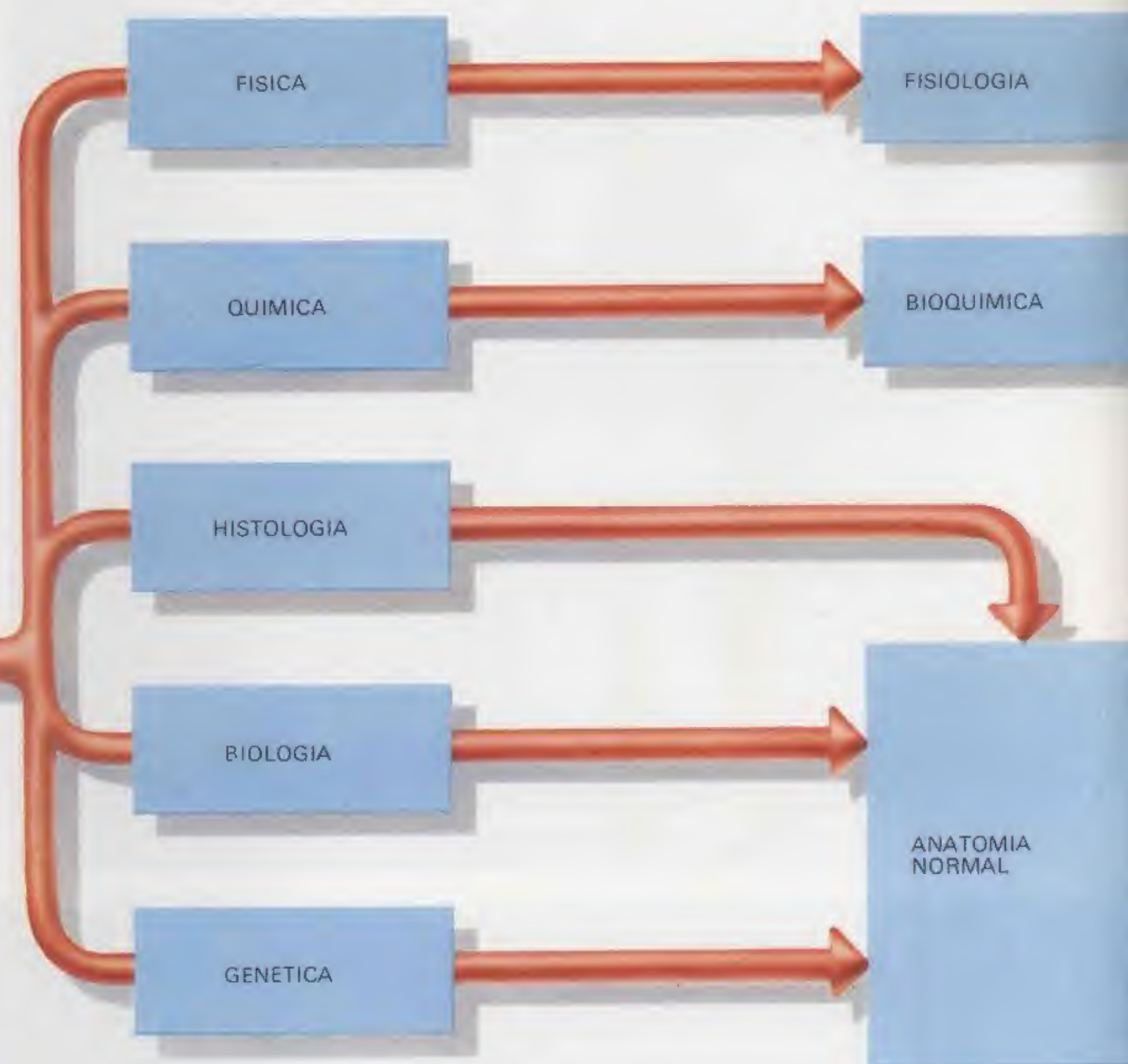
Todas las enfermedades del tracto gastrointestinal (es decir, desde la boca al ano, incluidos el estómago, el hígado, el páncreas y los intestinos) entran dentro

La Medicina interna representa sin lugar a dudas uno de los aspectos más importantes de la

Medicina integral, dado que ofrece al médico un completo cuadro de todas las posibles actividades

del organismo humano, evaluadas tanto desde un punto de vista fisiológico como patológico y

terapéutico. Por este motivo, el médico internista, más que cualquier otro médico, necesita poseer



A la derecha de estas líneas, imagen gammagráfica del corazón. Esta imagen, representada en una pantalla similar a la de un televisor, se obtiene utilizando una gammacámara sensible a pequeñas dosis de isótopos radiactivos. De esta manera se consiguen al mismo tiempo dos resultados igualmente importantes: la utilización de una dosis de radioisótopo absolutamente inocua y la visualización del corazón de una manera dinámica e inmediatamente valorable, de modo que permita al médico establecer un diagnóstico casi inmediato sin tener que someter al paciente a sufrimientos inútiles derivados de otras pruebas.



conocimientos extremadamente amplios que le permitan comprender en su conjunto las

distintas actividades del organismo, sano o enfermo, en su totalidad y en sus interrelaciones.

de la competencia de los especialistas *gastroenterólogos*.

Una persona afectada por la artritis reumatoide o por otras enfermedades de las articulaciones debe ser tratada por un *reumatólogo*, etcétera.

Otras áreas de especialización en el ámbito de la Medicina interna comprenden la *hematología*, que se ocupa de las alteraciones de la sangre y de las enfermedades del tejido que produce la sangre; la *nefrología*, que trata de las enfermedades de los riñones; existe, por otro lado, la rama de las enfermedades pulmonares, que concierne a los problemas respiratorios; y la rama de las enfermedades infecciosas, que considera sobre todo las enfermedades contagiosas raras y difíciles.

Para llegar a ser internista, un médico, una vez conseguida la licenciatura en Medicina y cirugía, debe llevar a cabo un cur-

so de especialización de una duración de cinco años, que se efectúa en una clínica universitaria.

En este período, el médico en fase de especialización tiene la obligación de realizar, durante unos espacios de tiempo determinados, los diversos ciclos de la especialización. Al final de los cinco años el médico consigue la especialización en Medicina interna.

Esta especialización ofrece la posibilidad de tratar algunas de las enfermedades más graves de nuestro tiempo y que presentan todavía aspectos muy oscuros (por ejemplo, el cáncer y las enfermedades cardíacas), una oportunidad que abre además al internista nuevas perspectivas en el campo de la investigación.

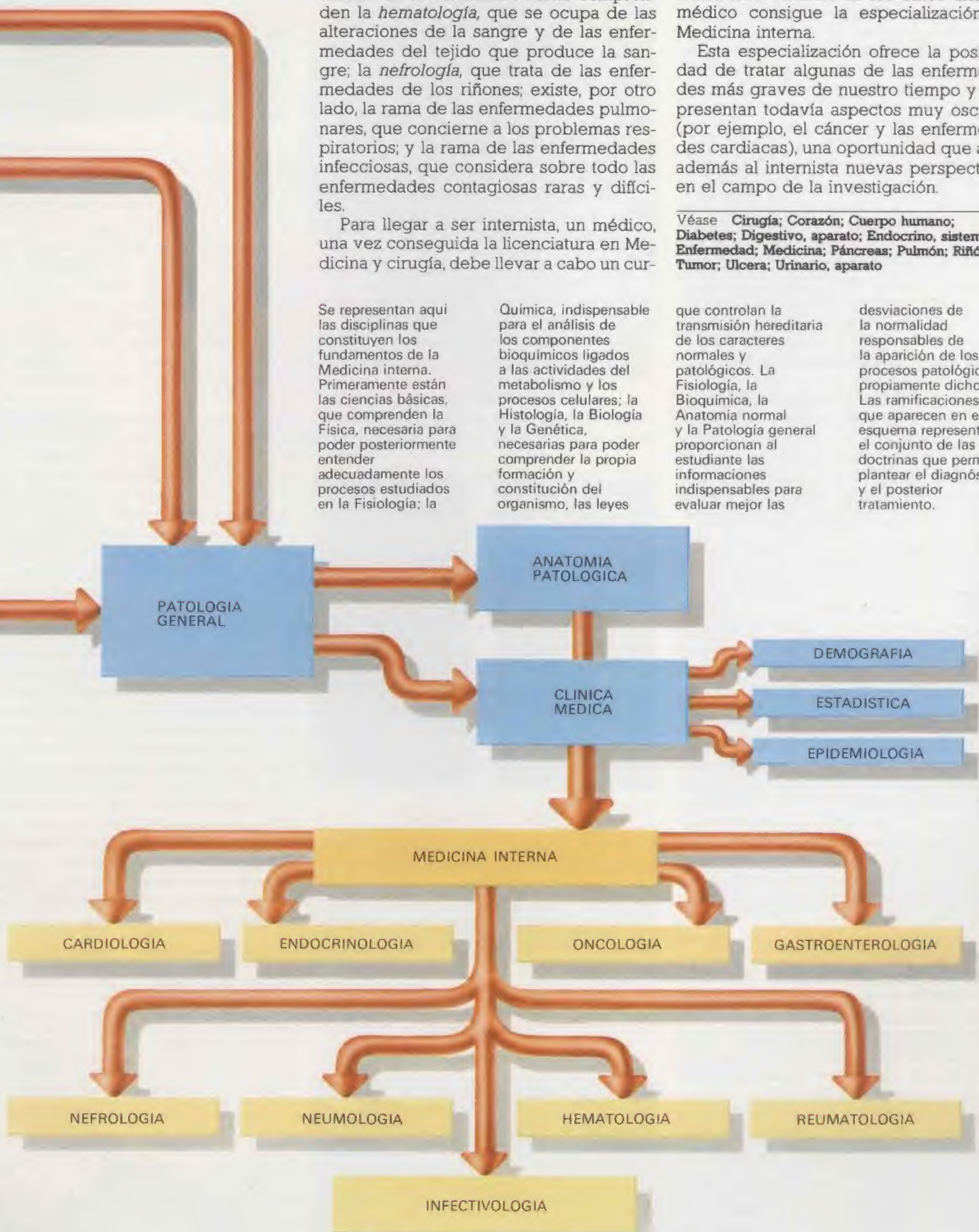
Véase **Cirugía; Corazón; Cuerpo humano; Diabetes; Digestivo, aparato; Endocrino, sistema; Enfermedad; Medicina; Páncreas; Pulmón; Riñón; Tumor; Úlcera; Urinario, aparato**

Se representan aquí las disciplinas que constituyen los fundamentos de la Medicina interna. Primeramente están las ciencias básicas, que comprenden la Física, necesaria para poder posteriormente entender adecuadamente los procesos estudiados en la Fisiología; la

Química, indispensable para el análisis de los componentes bioquímicos ligados a las actividades del metabolismo y los procesos celulares; la Histología, la Biología y la Genética, necesarias para poder comprender la propia formación y constitución del organismo, las leyes

que controlan la transmisión hereditaria de los caracteres normales y patológicos. La Fisiología, la Bioquímica, la Anatomía normal y la Patología general proporcionan al estudiante las informaciones indispensables para evaluar mejor las

desviaciones de la normalidad responsables de la aparición de los procesos patológicos propiamente dichos. Las ramificaciones que aparecen en el esquema representan el conjunto de las doctrinas que permiten plantear el diagnóstico y el posterior tratamiento.



Medicina laboral

Para que la gente pueda estar contenta en su propio trabajo —afirmaba el crítico inglés John Ruskin en el siglo XIX— son necesarias tres cosas: "es preciso estar adaptado al trabajo que se desarrolla, no se debe trabajar demasiado y se debe tener la sensación de obtener éxito." Por encima de todas estas condiciones, sin embargo, es preciso también un ambiente de trabajo adaptado al trabajador y, sobre todo, que esté —dentro de lo posible— exento de riesgos. La Medicina del trabajo o Medicina laboral, la rama de la Medicina destinada a satisfacer estos requisitos, surgió en el año 1700, cuando un médico italiano, Bernardo Ramazzini, publicó su obra pionera titulada *Enfermedades de los trabajadores*.

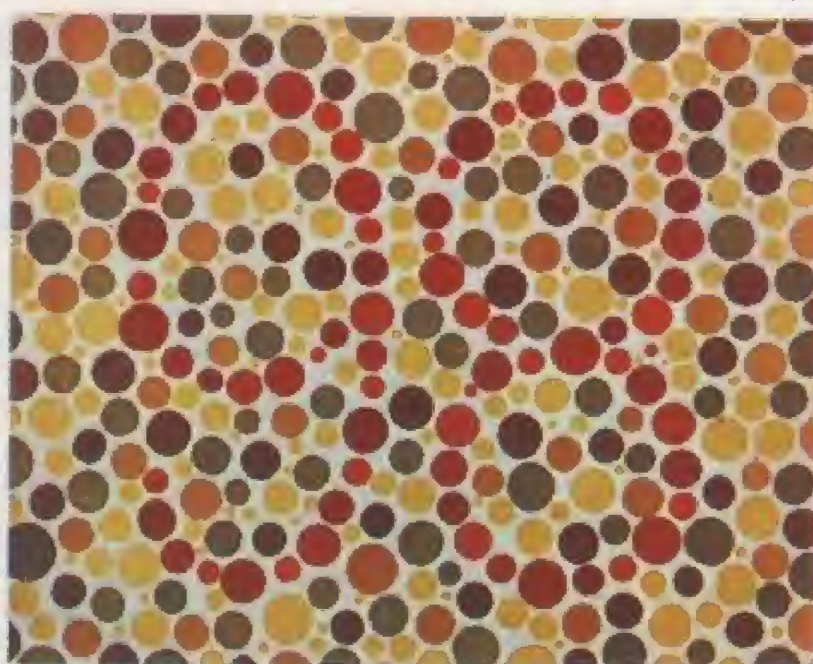
Ramazzini, con frecuencia designado como el padre de la Medicina laboral, no sólo aisló y, en consecuencia, logró que fueran aisladas o sustituidas ciertas sustancias tóxicas comúnmente utilizadas por los obreros (por ejemplo, el plomo, utilizado en la composición de los caracteres tipográficos), sino que también señaló la importancia de la prevención de las enfermedades típicas de los trabajadores y de un mayor cuidado de su salud. Tomó en consideración los factores sociales y psicológicos, que pueden contribuir a crear condiciones de trabajo poco favorables, pero que si se tratan correctamente contribuyen a incrementar las motivaciones y la productividad del trabajador.

Enfermedades profesionales Las enfermedades profesionales se pueden clasificar según los distintos factores que las originan. De esta manera, se puede distinguir: enfermedades causadas por factores ambientales, enfermedades producidas por el tipo de material de trabajo y enfermedades de posición.

Los *factores ambientales* (temperatura, humedad, luminosidad, movimientos de aire, etc.) influyen profundamente en la capacidad laboral y en el rendimiento.

Se considera que una temperatura de 18-21 °C y una humedad del 50% son las indicadas para conseguir una buena confortabilidad ambiental. Los ambientes con elevadas temperaturas (a los que están expuestos fogoneros, fundidores, trabajadores de altos hornos, etc.) provocan problemas de cefalea, fotofobia, náusea, vómito e incluso convulsiones epilépticas. Para evitar que un exceso de sudoración determine una rápida pérdida de electrolitos (potasio, sodio), los trabajadores que sudan intensamente deben ingerir cantidades elevadas de cloruro sódico. Por el contrario, los trabajos desarrollados a temperaturas muy bajas (en cámaras frigoríficas, en la fabricación del hielo y en algunas industrias químicas) pueden provocar deficiencias miocárdicas.

Los obreros que trabajan en ambientes con presión muy elevada (como los buzos) corren el riesgo de sufrir embolias, con subsiguientes infartos y hemorragias, en caso de una descompresión demasiado rápida.



Un elevado nivel de ruidos puede provocar un estado de malestar ambiental. Cuando la frecuencia de los ruidos es superior a 3.000-4.000 hertz y su intensidad de más de 80-90 decibelios, comienzan a aparecer alteraciones de las células acústicas, que se extienden hasta alcanzar las fibras nerviosas. El ruido afecta principalmente al sistema nervioso vegetativo, y a las glándulas endocrinas, pudiendo darse situaciones extremas de anorexia, enflaquecimiento, irritabilidad, trastornos psíquicos, temblores.

A veces son los propios instrumentos utilizados los que producen al trabajador distintas alteraciones. Un ejemplo muy

claro son los instrumentos vibrantes (martillos neumáticos), que determinan alteraciones osteoarticulares, musculares y vasculares. Para estas últimas se administran fármacos vasodilatadores.

Los fenómenos patológicos de anoxia (disminución de la disponibilidad de oxígeno) y de edema cerebral pueden producirse en situaciones extremas por radiaciones y por electricidad.

Las *enfermedades por material* comprenden principalmente las ocasionadas por productos tóxicos industriales y por polvo.

Las enfermedades provocadas por productos tóxicos comprenden todas aquellas ocasionadas por la ingestión de plomo, mercurio, sulfuro de carbono (sulfocarbonismo), insecticidas, benzol, glicoles, arsénico, fósforo, azufre, etcétera.

La ingestión de plomo o de alguno de sus compuestos provoca violentos dolores abdominales, cefalea, calambres y vómitos. Las exposiciones repetidas al mercurio afectan principalmente al sistema nervioso (temblores, pérdida de memoria), aparato digestivo (estomatitis y enterocolitis), riñón e hígado. El sulfuro de carbono, utilizado en la elaboración de la seda artificial, penetra casi exclusivamente por las vías respiratorias y afecta al sistema nervioso central y al aparato endocrino. Las enfermedades por insecticidas van desde formas leves con cefalea, náusea y diarrea, que curan espontáneamente en dos o tres días, hasta formas graves con estado de *shock*, graves trastornos intestinales y afectación posterior del hígado, riñón y sistema nervioso. El benzol, que se emplea en la preparación de sustancias plásticas, de fibras sintéticas, de



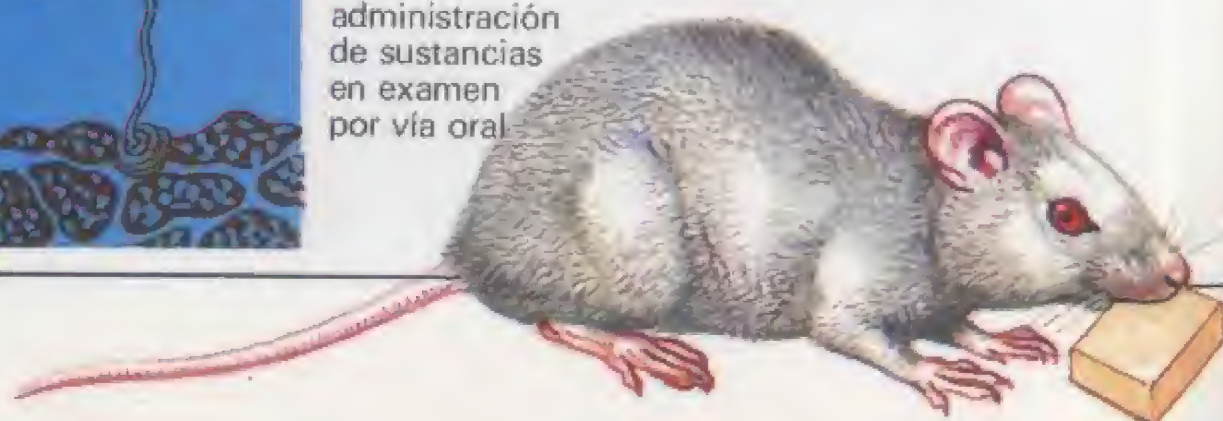
vías de difusión
de las sustancias tóxicas



Las sustancias tóxicas de uso industrial pueden estar presentes en los productos de fabricación y en el ambiente de trabajo en estado sólido, líquido, como vapores, nieblas, polvos o humos. Pueden ser absorbidas por el organismo a través de los sistemas gastrointestinal y

respiratorio y a través de la piel. Provocan efectos dañinos tanto directamente en el sistema circulatorio como en los órganos, que pueden influir más o menos en su eliminación a través de procesos bioquímicos de transformación o en los que puede darse una acumulación.

administración
de sustancias
en examen
por vía oral



Uno de los objetivos de la Medicina laboral es la selección profesional, que se lleva a cabo generalmente con un reconocimiento médico y un examen sensorial y psicotécnico. En la página anterior, arriba, ejemplos de tablas pseudo-isocromáticas de Ishihara y de Stilling. Estas tablas se sitúan, iluminadas, a un metro de distancia del sujeto: cuando éste no logra leer el número (formado por puntos de color distinto al que predomina en la tabla), tiene ceguera para el sentido cromático, y en consecuencia le estarán particularmente contraindicados determinados trabajos. La silicosis es una de las enfermedades producidas por polvo más difundida. A la derecha, pulmón afecto por silicosis. Dicha enfermedad, afortunadamente hoy día en disminución, está provocada por la inhalación de polvo de sílice que se produce

en todos los trabajos en los que se manipulan, trituran o pulimentan rocas que contengan silicio. Característica de la silicosis es la presencia de nódulos fibrosos (en el recuadro) en el tejido pulmonar.



colorantes, de insecticidas y de detergentes, se absorbe a través de las vías respiratorias. Puede producir intoxicación aguda (con cefalea, vómito, vértigo, e irritación conjuntiva) o crónica (astenia, calambres musculares, insuficiencia hepática y neuritis óptica). El conjunto de compuestos de los glicoles, de amplio empleo como disolventes, se introduce en el organismo por vía gástrica, presentando implicaciones nerviosas, pulmonares y renales. Los trabajadores expuestos a sustancias potencialmente peligrosas deben estar sometidos a controles periódicos a fin de que los niveles de exposición no superen los límites de concentración máxima admisibles (MAC).

Las enfermedades respiratorias por polvo (neumoconiosis) son enfermedades pulmonares producidas por la inhalación de polvo, entre las que destacan la *silicosis*, provocada por la inhalación de polvo de bióxido de silicio y que se caracteriza por la disnea (dificultad de respiración); la

asbestosis, producida por la inhalación de polvo de amianto y caracterizada por fibrosis pulmonar; la *antracosis*, provocada por la inhalación de polvo de carbón y que se caracteriza por dolores torácicos y disnea; la *talcosis*, provocada por la inhalación de polvos de talco, que provoca lesiones pulmonares; etcétera. Todas estas enfermedades están a menudo asociadas con la tuberculosis.

Las *enfermedades por posición* derivan de la posición gravosa que se hace necesaria en determinados trabajos y que produce dolencias de diverso grado en el organismo, sobre todo a nivel del sistema de sostén osteoarticular. La posición erecta tiene como consecuencia la aparición de varices en los miembros inferiores; la posición sentada determina fatiga de la columna vertebral; la posición agazapada y arrodillada provoca dolencias en los órganos abdominales y bursitis de la rodilla. Como medida profiláctica para estas enfermedades se aconseja la mejor posición

SUSTANCIAS DOTADAS DE PODER CANCERIGENO

Agente causal	Tipo de exposición	Organos diana
aminas aromáticas	p	véjiga
arsénico (algunos compuestos)	p-a-f	piel, pulmón
asbesto	p	pulmón, pleura, peritoneo
benzol	p	leucemia
bis (clorometil) éter	p	pulmón
cadmio (algunos compuestos)	p	próstata
clorofenoles y fenoxiácidos	p	sarcomas, linfomas
cloruro de vinilo	p	hígado
cromo (algunos compuestos)	p	pulmón
hidrocarburos aromáticos policíclicos (humos, hollines y aceites minerales)	p	pulmón, piel, escroto
elaboración de cuero	p	senos paranasales
elaboración de madera	p	senos paranasales
níquel (algunos compuestos)	p	senos paranasales, pulmón
producción de alcohol isopropílico	p	senos paranasales
radiaciones ionizantes	f-p-x	leucemias y muchos otros tumores
radiaciones ultravioleta	f-p-x	piel, labios

p = profesional
f = farmacológica
a = alimentaria
x = otras

Fuente: Doll, R., y Peto, R. (1981). JNCI, 66, 1193



administración por vía venosa

Para estudiar el efecto cancerígeno de determinadas sustancias se llevan a cabo experimentos "in vivo" con animales. Se administra a un ratón, por vía oral o por vía intravenosa, la sustancia en examen. Al mismo tiempo se le inyectan unos microorganismos,

Saccharomyces cerevisiae (los cuales forman colonias blancas, pero que en contacto con una sustancia cancerígena se transforman en rosa), que van a colonizar distintos órganos. Los microorganismos entran en contacto con la sustancia en

examen o con un producto procedente del metabolismo de la misma. Después de unas 24 horas se sacrifica al animal y se estudian sus células. Puede apreciarse de esta manera el efecto cancerígeno de la sustancia sometida a examen, así como el órgano más afectado.

animal preparado para disección

a adoptar durante el trabajo, así como alguna actividad deportiva: es particularmente aconsejable la práctica de la gimnasia.

Véase **Enfermedad; Ergonomía; Medicina; Seguridad, sistemas de; Seguridad industrial; Toxicología**



Medicina legal

A veces los médicos legales deben resolver casos más difíciles que los descritos en las novelas. Las pruebas aportadas por la Medicina legal han resuelto casos de homicidio tan extraños que superarían la fantasía de cualquier novelista, respondiendo no sólo a la pregunta: "¿Quién es el culpable?", sino también a la cuestión: "¿Cómo ha muerto la víctima?".

La Medicina legal, consistente en la aplicación de la ciencia médica en la administración de justicia, no se ocupa sólo de casos de homicidio, sino que forma parte importante de los sistemas judiciales en la mayoría de los países.

La intervención de un psiquiatra puede ser requerida en los casos en los que debe ser verificada la salud mental del acusado. Puede ser también convocado como testigo tanto por el ministerio público como por el abogado defensor.

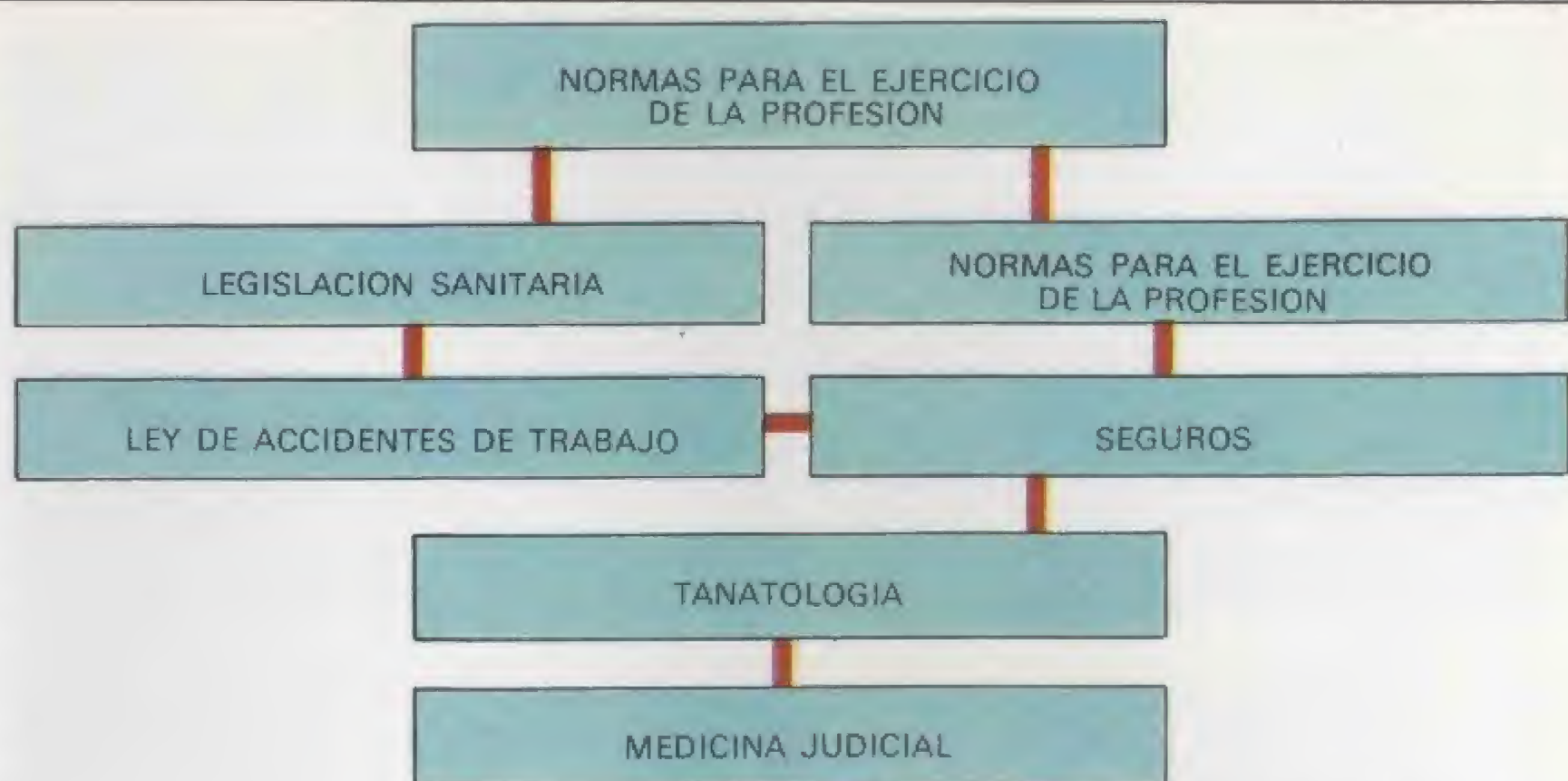
La Medicina legal puede ser aplicada también a casos en los que debe ser determinada la paternidad de un niño. En estos casos han de presentarse al tribunal —como pruebas— análisis médicos concernientes a los grupos sanguíneos, cromosomas, etcétera.

Probablemente la presencia de los médicos en las salas de justicia se debe, la mayoría de las veces, a su declaración como testigos en los procesos en que una persona denuncia a otra persona por lesiones. En estos casos debe establecerse cuándo, dónde y cómo la persona en cuestión ha sido lesionada.

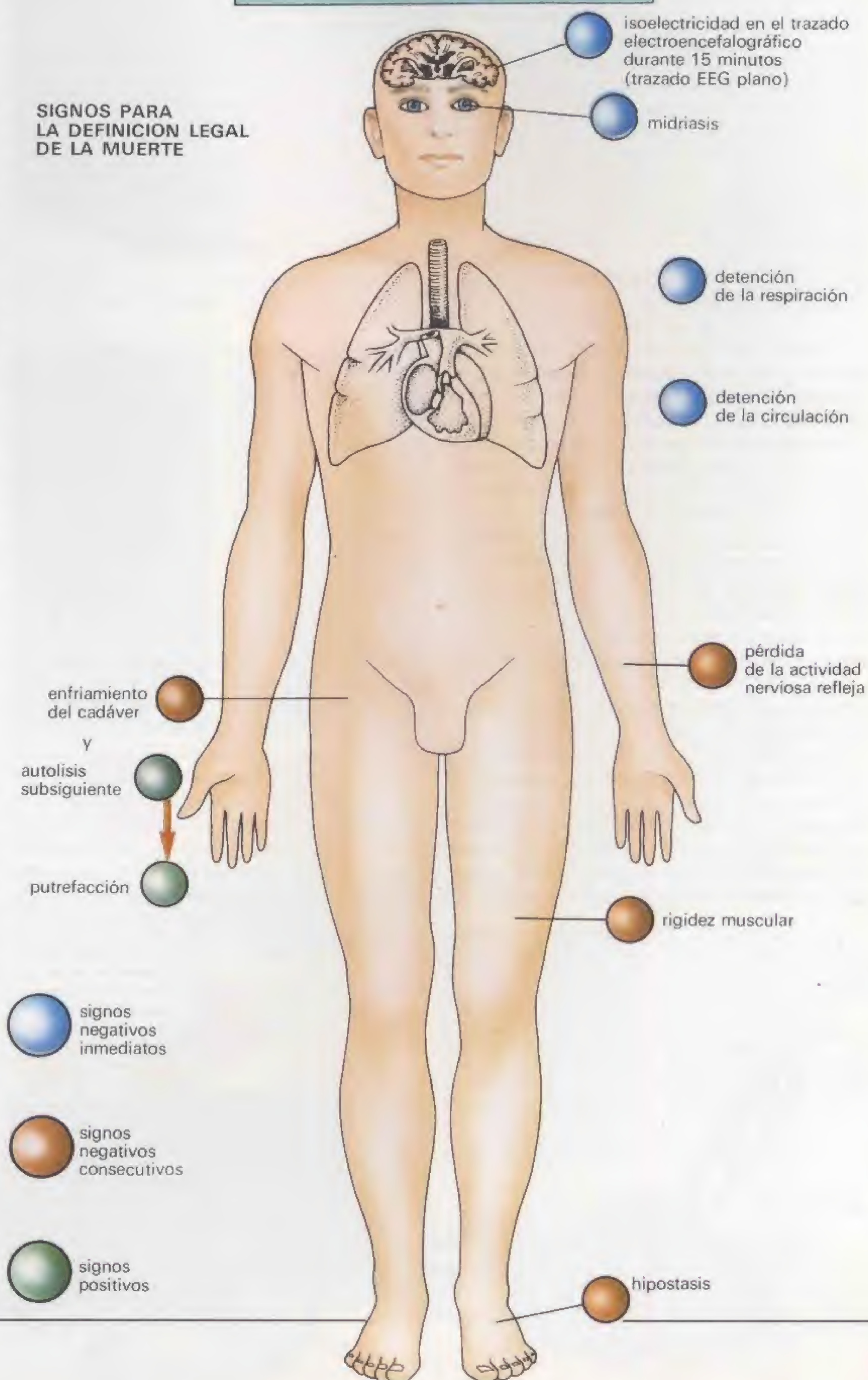
Asimismo, el médico legal debe tratar de establecer, por ejemplo, si una actividad laboral desarrollada —incluso muchos años atrás— en una fábrica, en contacto con una cierta sustancia química, pudo haber causado en un trabajador la aparición de un tumor, o si situaciones laborales de gran *stress* pueden haber producido en un individuo estados de confusión mental que posteriormente han ido evolucionando a síndromes psicóticos.

Determinar la causa de la muerte Según la ley, el cuerpo de una persona muerta en circunstancias sospechosas de criminalidad debe ser examinado por un médico con el fin de determinar la causa de su muerte. Se puede establecer el momento de la muerte de un modo aproximado basándose en una serie previsible de transformaciones que sufre el cadáver.

La *autopsia* consiste en el examen atento y detallado de un cadáver. Es requerida por la ley en todos los casos de muerte violenta y con frecuencia se realiza también en los casos de muerte imprevista. Durante una autopsia, se examinan generalmente los tejidos cerebrales para verificar la presencia de sustancias alcohólicas; el corazón, para comprobar la presencia de lesiones; y la sangre y los tejidos, para determinar la existencia de tóxicos. A menudo se examina también el contenido del estómago, dado que el estado de la digestión puede ayudar a determinar la hora de la muerte. Las circunstancias en



SIGNOS PARA LA DEFINICION LEGAL DE LA MUERTE



que se produjo la muerte determinan la naturaleza, el desarrollo y la extensión de la autopsia.

La presencia de tóxicos en el organismo se determina a través de análisis químicos. Los tóxicos se dividen en cinco categorías: el primer grupo comprende *sustancias volátiles* (alcohol, nicotina y ácido cianhídrico), que pueden ser identificadas en los tejidos mediante destilación a vapor; el segundo grupo incluye *tóxicos en estado gaseoso*, como el monóxido de carbono, que se identifican con el mismo método; el tercer grupo comprende los *tóxicos orgánicos*, como los barbitúricos y los insecticidas. La identificación de estos venenos requiere análisis mucho más complejos. El cuarto grupo abarca los *tóxicos inorgánicos*, como el arsénico, plomo y las sales tóxicas, fáciles de identificar. El quinto grupo, que comprende *todos los demás tóxicos*, puede presentar, por el contrario, notables dificultades para su determinación.

La determinación de la causa de la muerte es muy importante en los casos sospechosos de homicidio, pero es también relevante en otros tipos de procedimientos legales. Se ha comprobado el

caso, por ejemplo, de un hombre muerto a causa de un ataque cardíaco que, mientras se encontraba conduciendo su propio automóvil, atropegó a un peatón. El automóvil resultó tan dañado que hacía pensar que el conductor murió a causa del accidente. El médico legal, por el contrario, estableció que el hombre había muerto por un ataque cardíaco. La familia del peatón atropellado no pudo exigir responsabilidades, dado que un muerto no podía ser responsable de sus acciones.

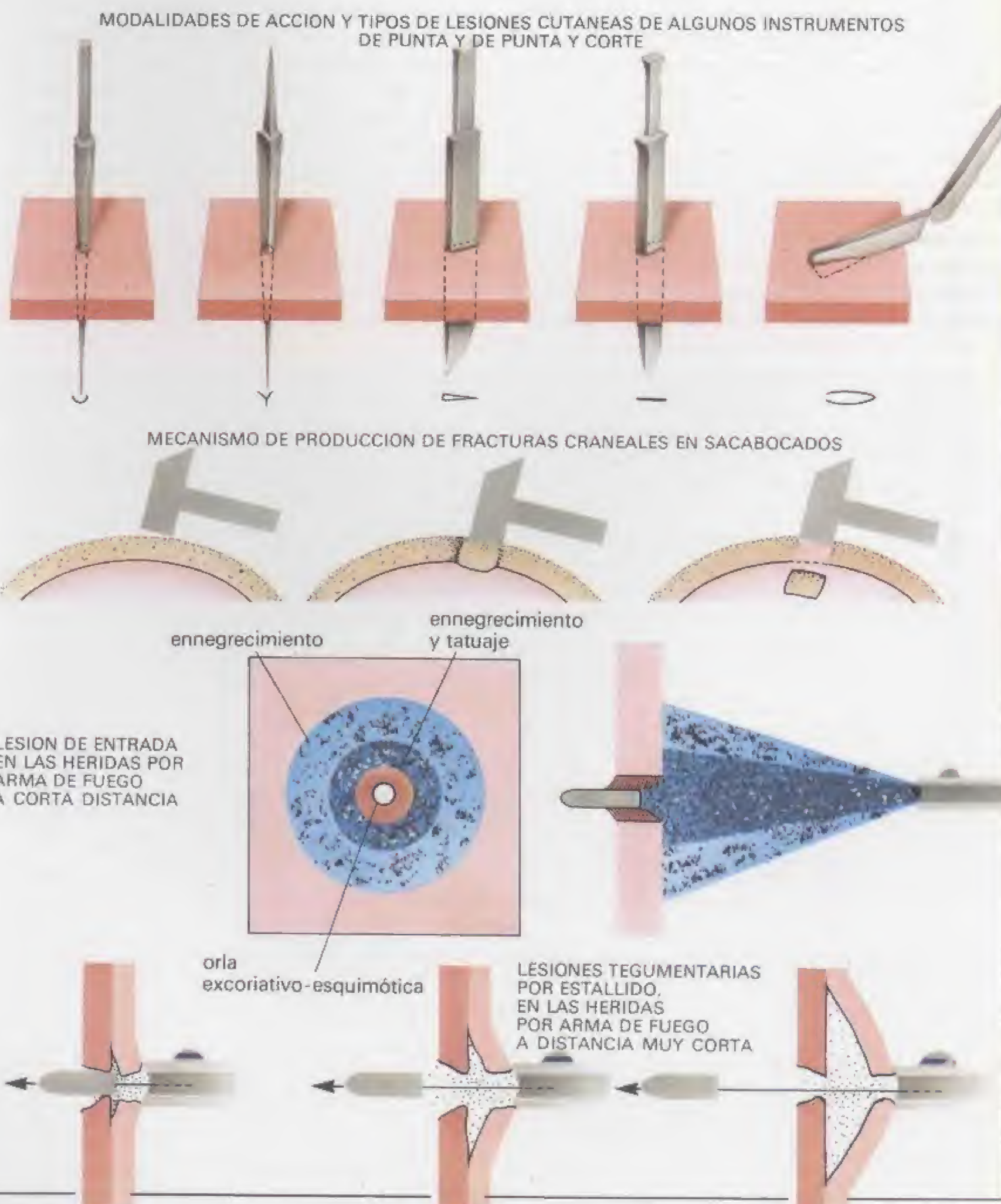
Condición jurídica Todos los países poseen un sistema de leyes concernientes a la Medicina legal. En España cabe distinguir entre el Médico Especialista en Medicina Legal y el Médico Forense. El primero es un médico que ha cursado estudios de dicha especialidad en la Escuela profesional de Medicina legal, y que ha obtenido el título acreditativo. El segundo es un médico que ha aprobado las oposiciones libres que le convierten en funcionario del Ministerio de Justicia.

Véase **Medicina; Muerte; Psiquiatría**



En la ilustración de la página anterior, el diagrama de la parte superior resume los campos de operación de la Medicina legal. El dibujo, a su vez, ilustra los signos útiles para la definición legal de la muerte. Se pueden distinguir signos negativos inmediatos, signos negativos consecutivos y signos positivos, es decir, señales de presencia visible de alteraciones. En la parte inferior de esta página se muestran algunas modalidades de lesiones que constituyen objeto de investigación de la Medicina legal. A la izquierda vemos una modalidad típica de atropello. Más abajo, un caso en que el

individuo atropellado cae sobre el capó del coche. Más a la derecha se ilustran las modalidades de acción y el tipo de lesiones cutáneas producidas por instrumentos de punta (los dos primeros), instrumentos de punta y cortantes (el tercero y el cuarto) y sólo cortante (el último). Abajo, producción de fracturas craneales por golpe. Más abajo aún, la típica lesión de entrada por impacto de arma de fuego disparada a corta distancia, y esquema del disparo. Abajo del todo, producción de lesiones tegumentarias por disparo de arma de fuego a distancia muy corta. Sobre estas líneas, huella dactilar.



Medicina preventiva

La Medicina preventiva comprende un conjunto de normas y medidas encaminado a prevenir la aparición de la enfermedad. La Medicina preventiva, más que devolver la salud perdida, trata de mantenerla, evitando que las enfermedades, la mala alimentación y las condiciones ambientales perjudiciales afecten al hombre.

La salud pública es el principal objetivo de la Medicina preventiva. Su finalidad es favorecer y salvaguardar la salud de la comunidad, tratando de eliminar las causas que alteran el bienestar físico del individuo. Sus reglas fundamentales consisten en el mantenimiento de la seguridad ambiental, mejoramiento de la resistencia contra las infecciones, eliminación de hábitos insalubres (como el hábito de fumar), enseñanza de una correcta alimentación, favorecimiento de la salud de la madre y del niño y curación del enfermo.

Las estrategias La comunidad médica divide la Medicina preventiva en tres tipos. La prevención primaria trata de impedir que se produzca una enfermedad. Por ejemplo, la vacunación contra la viruela impide el desarrollo de esta enfermedad. La prevención secundaria se ocupa de descubrir precozmente la enfermedad, al objeto de impedir daños ulteriores. El test de Papanicolaou pertenece a esta categoría y sirve para diagnosticar los tumores uterinos en su fase inicial, cuando la curación es todavía posible. El tercer tipo de prevención tiene por finalidad retrasar el envejecimiento y prevenir las complicaciones en personas que ya se encuentran enfermas. En ocasiones, tras una enfermedad o el descubrimiento de un estado morbo-oso, el tratamiento sirve para pre-

venir una recaída o al menos para retrasar su aparición. Por ejemplo, muchos tipos de artritis son incurables, pero la utilización de corsés y la gimnasia correctora colaboran a prevenir las deformaciones que provoca la enfermedad. La epidemiología se ocupa de estudiar los mecanismos que causan y difunden las enfermedades.

Información y educación sanitarias A menudo resulta difícil para los médicos convencer a los pacientes de la necesidad de someterse a reconocimientos periódicos y a otras prácticas preventivas.

Por lo general, el paciente acude al médico sólo en aquellas ocasiones en que se encuentra enfermo; o bien, en algunos casos, cuando es estimulado a solicitar ayuda por motivos personales.

Por ello, los servicios médicos que se ocupan de promover las medidas preventivas deben ser muy convincentes en su acercamiento al público, en primer lugar de cara a atraer la atención y, posteriormente, para identificar las necesidades de ayuda y convencer a las personas para que utilicen sus servicios cuando sea necesario.

El servicio sanitario público trata de realizar este objetivo informando a la comunidad de los peligros ambientales y ofreciendo servicios preventivos, que van desde las vacunas contra las enfermedades y desde los controles de la presión sanguínea hasta la prevención de los perjuicios derivados de la hipertensión. La educación sanitaria, particularmente a nivel escolar (escuela primaria, media y enseñanza superior), representa uno de los ejes fundamentales sobre los que gira la concepción de la Medicina preventiva,

dado que puede actuar también de manera articulada a más niveles.

En las guarderías los niños aprenden los principios esenciales de higiene y empiezan a conocer las enfermedades más simples. A continuación, en la escuela primaria, los niños comienzan a percibir algunos de los mecanismos más sencillos responsables de la aparición de las enfermedades. En las escuelas superiores la Medicina preventiva y la Medicina deportiva garantizan una vida sana.

Aplicaciones más amplias Para salvaguardar la salud pública no basta con aportar informaciones y remedios útiles a la gente. Se sabe que fumar, comer demasiado y conducir en estado de embriaguez son cosas peligrosas, pero mucha gente continúa haciéndolo, poniendo así en peligro su vida y la de los demás.

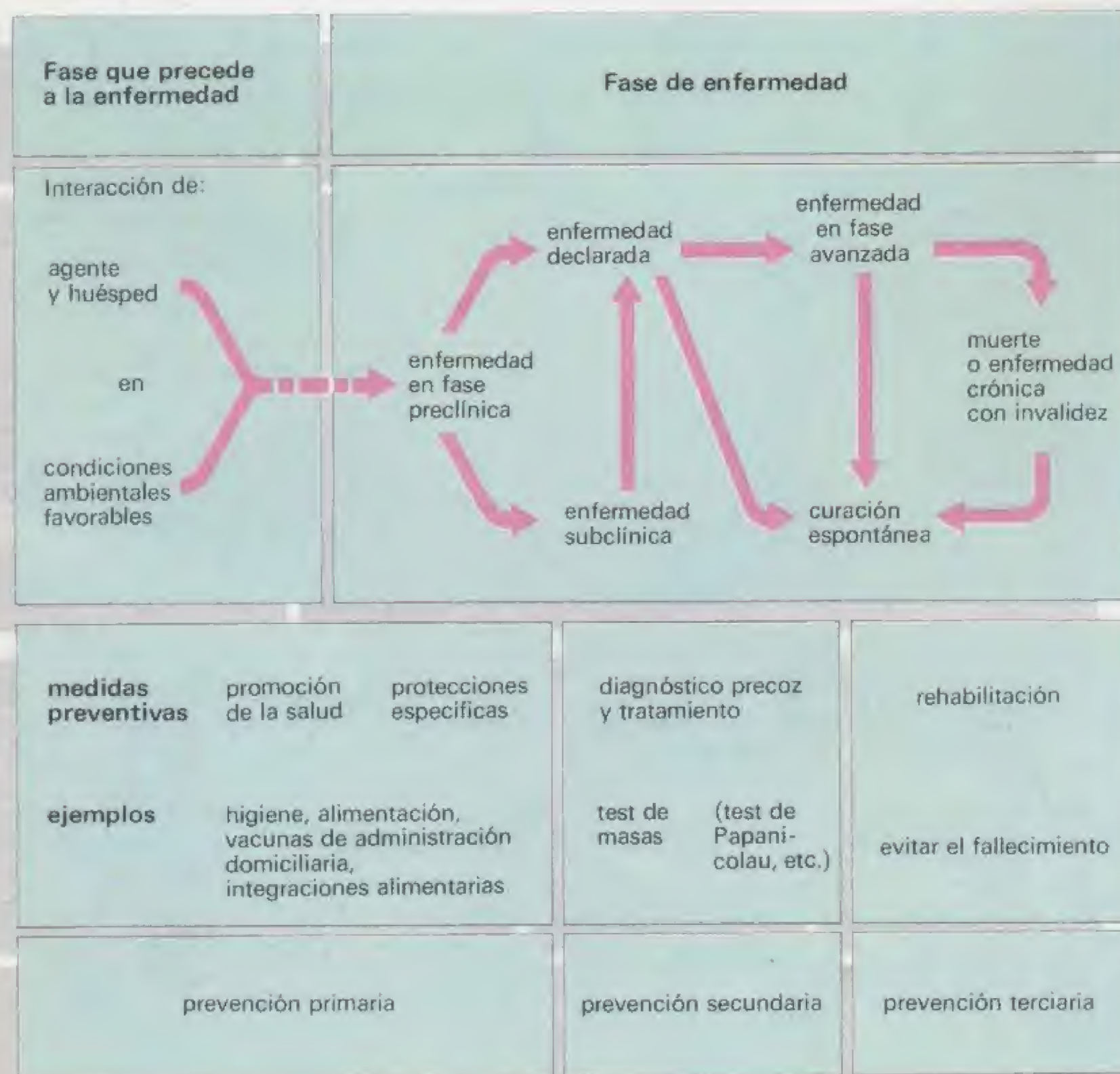
Algunos riesgos son controlables por el propio individuo, pero otros son inevitables. Los trabajadores están expuestos a los peligros ligados al ambiente de trabajo, a máquinas peligrosas y a sustancias tóxicas del ambiente. Las desigualdades sociales y económicas causan problemas de hacinamiento, de alimentación escasa o poco nutritiva y de viviendas inadecuadas. Las nuevas tecnologías agrícolas puestas a punto para incrementar la producción contaminan a menudo el alimento y el agua con los insecticidas.

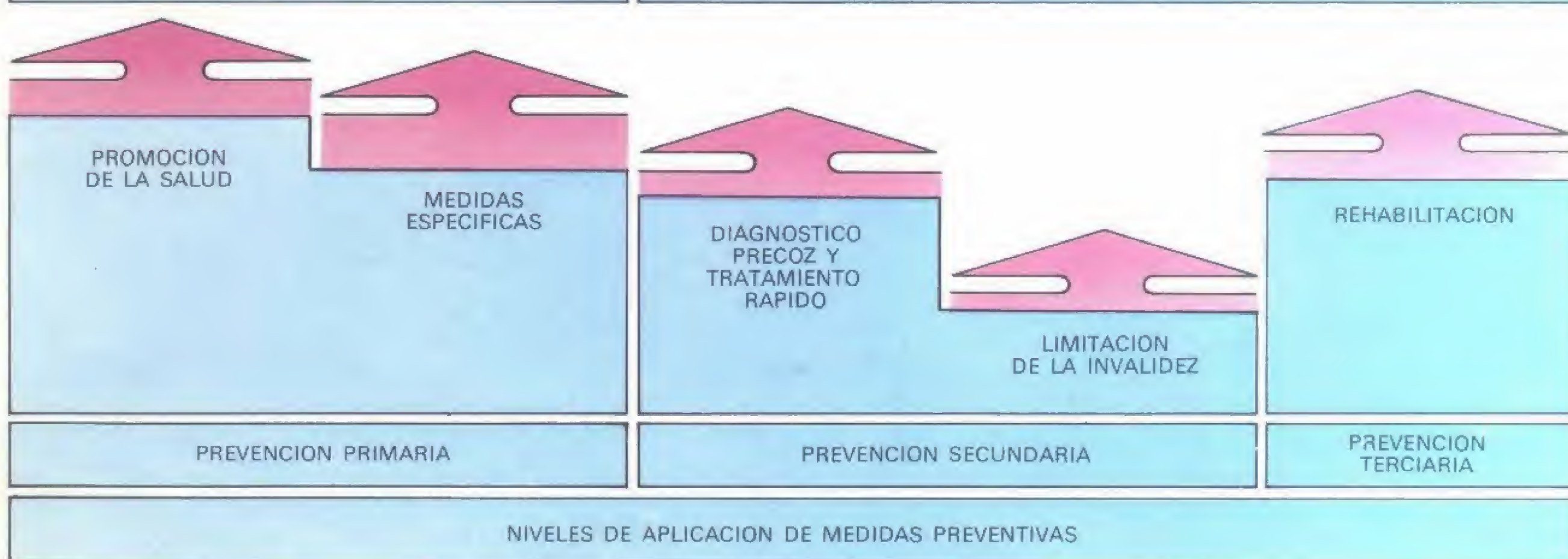
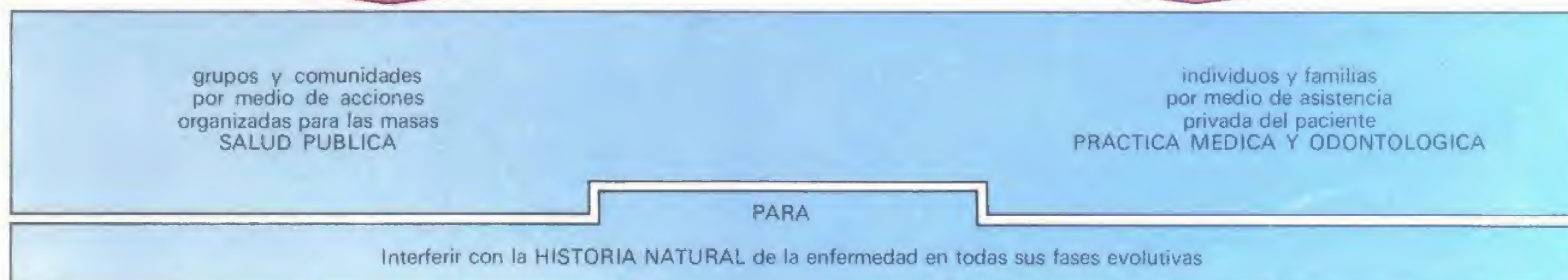
Los aditivos químicos, si se introducen en el mercado antes de haber sido suficientemente experimentados, pueden provocar daños en la salud. Por ejemplo, el ciclamato, un edulcorante artificial, ha sido considerado un posible agente cancerígeno y eliminado de la industria alimentaria.

Los médicos y los servicios de salud pública no pueden afrontar por sí solos todos esos problemas. Es entonces cuando interviene la Medicina preventiva. Por ejemplo, los medios de información son, con frecuencia, capaces de modificar los hábitos de vida, ya que llegan a una gran cantidad de personas. La publicidad ejerce una gran influencia sobre el comportamiento social y puede ser utilizada también por la Medicina preventiva. Carteles publicitarios y eslóganes que bombardean al público acerca de los peligros de la contaminación y del tabaco pueden también hacer cambiar opiniones y comportamientos.

La salud pública se protege también mediante una serie de medidas preventivas: multas para los que fuman en lugares donde está prohibido, retirada del permiso de conducir a los que conducen en estado de embriaguez, multas para la contaminación industrial, etc. La tecnología agrícola, la planificación urbanística, los transportes y la educación pueden concretamente entrar a formar parte de la Medicina preventiva con el objetivo preciso de mejorar el ambiente.

Véase **Enfermedad; Enfermedades hereditarias; Genética; Herencia; Medicina; Vacunación**





Medidas

El filósofo y matemático griego Pitágoras dijo que "El hombre es la medida de todas las cosas", pensamiento que supuso toda una nueva concepción de lo humano en el Renacimiento. Hoy, sin embargo, se podría completar esa frase con esta otra: "El hombre es el *medidor* de todas las cosas." Y es que la medida desempeña un papel esencial en la tecnología moderna, hasta el punto de que una rama bastante importante de la tecnología, la *instrumentística*, se ocupa del desarrollo de nuevos aparatos en condiciones de efectuar medidas cada vez más afinadas sobre un número también creciente de fenómenos.

Medida y confrontación En cierto sentido, la medida es una forma de confrontación. Cuando cotejamos dos cosas, lo hacemos siempre respecto a una magnitud dada. La *longitud* es una de las numerosas dimensiones consideradas fundamentales en los sistemas de medida utilizados para el estudio de las características físicas. Otras dimensiones de este tipo son la cantidad de materia (*masa*), la duración en el *tiempo* de un fenómeno, la *temperatura*, el *flujo* de la corriente eléctrica y la *intensidad* de la luz. De estas dimensiones pueden derivarse otras: la *densidad*, el *volumen*, etcétera.

Si queremos averiguar cuál es la longitud de un determinado objeto, comparamos el objeto con otro de longitud conocida, que sirve como *unidad* de medida; a continuación expresamos la longitud del objeto dado en términos de esa unidad de referencia. Así, podría darse el caso de que el objeto tuviera una longitud doble que la de la unidad de referencia, asignando entonces un número y una unidad de referencia al objeto en cuestión: esa combinación será la *medida* de dicho objeto. La unidad es el nombre dado a la referencia y el número expresa la *relación* de la longitud de un objeto dado respecto a la longitud de la referencia.



balanza y pesas del antiguo Egipto

Desde la Antigüedad, como muestra la fotografía sobre estas líneas, el hombre ha tenido necesidad de establecer unidades de medida universalmente

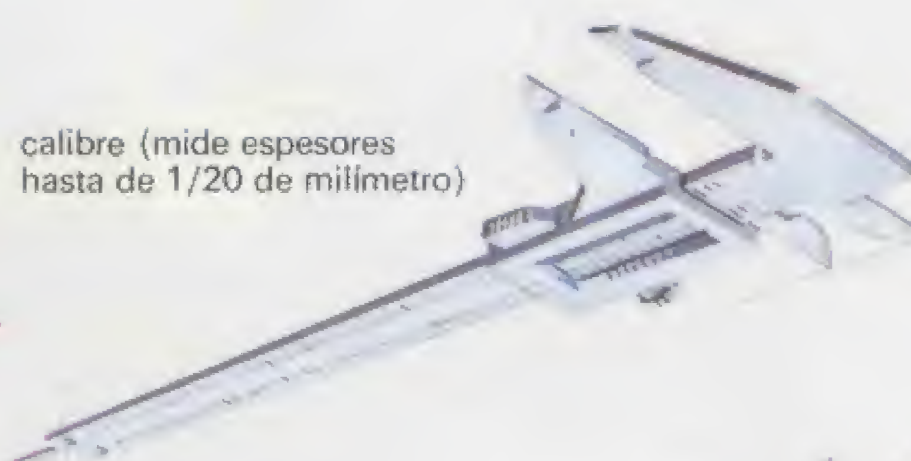
válidas (o al menos válidas en los límites del propio radio de acción) para poder efectuar medidas y realizar intercambios. A la derecha, algunos patrones de capacidad, peso y longitud de los siglos XVII y XVIII.

Unidad de medida La elección de una unidad de medida es bastante arbitraria, pero cuando ya ha sido elegida son importantes tres cosas: 1) la *unidad tipo* debe permanecer fija; 2) *debe ser accesible* a cualquiera que desee efectuar medidas; 3) *debe ser utilizable* con arreglo a las unidades usadas para medir otras propiedades (esto es, hay que asegurar la existencia de una relación ordenada entre las diversas medidas).

Un conjunto de unidades de referencia para las propiedades fundamentales determina un *sistema de medidas*. Los dos principales sistemas de medidas son el *anglosajón* (basado en la *pulgada*, el *pie*,



reloj de sol florentino (1560)



calibre (mide espesores hasta de 1/20 de milímetro)



esferómetro (mide el radio de una superficie esférica)



micrómetro (mide espesores hasta la milésima de milímetro)



reloj electrónico (mide el tiempo)



la libra y el segundo) y el sistema métrico decimal (M.K.S.), basado en el metro, el kilogramo y el segundo.

El sistema métrico decimal, desde su adopción en Francia a finales del siglo XVIII para poner fin al caos de las medidas tradicionales, fue expandiéndose hasta ser adoptado de forma universal, precisamente por su simplicidad y carácter práctico, ya que, al ser todas las unidades y subunidades múltiplos de 10, las operaciones resultan fáciles, incluso sin ayuda de instrumentos de cálculo. Por el contrario, en el sistema anglosajón las relaciones son más complejas y diversas: por ejemplo, 1 libra vale 16 onzas; 1 quintal inglés, 112 libras; 1 tonelada, 2.000 libras la inglesa y 2.240 libras la utilizada en EE UU.

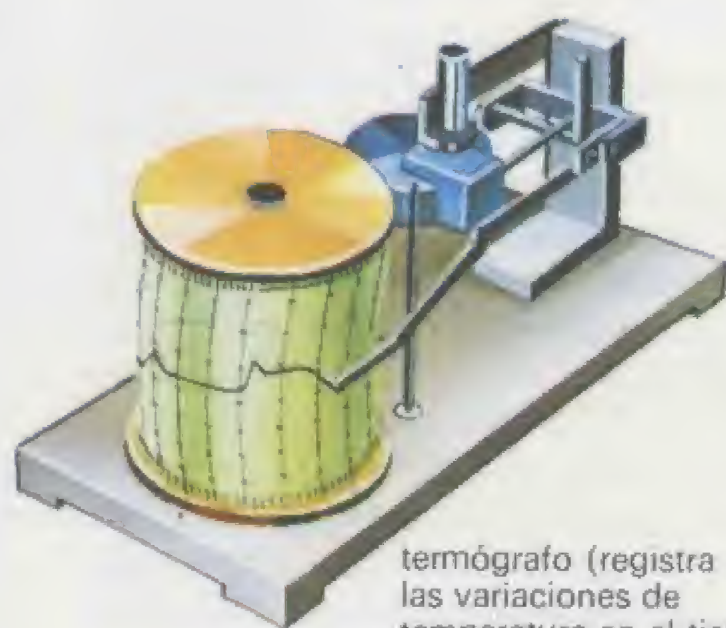
Existen otros sistemas de medidas con base decimal, además del ya citado: el sistema internacional (S.I.), adoptado por la XI Conferencia General de Pesas y Medidas (París, 1960), que difiere del sistema M.K.S. solamente en las definiciones de las unidades; el sistema C.G.S., en el que las unidades fundamentales son el centímetro, el gramo y el segundo; el sistema técnico, cuyas unidades son el metro, el kilogramo-peso (para la fuerza) y el segundo.

La definición de las unidades-patrón del sistema métrico decimal ha experimentado vicisitudes y cambios a lo largo del tiempo. La primera definición se remonta a 1799, cuando una comisión de científicos de diversos países definió como unidad fundamental de longitud la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, llamando a tal unidad metro, del cual fue construido un patrón, conservado en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres (París), donde se guarda asimismo el patrón del kilogramo, la unidad de medida de la masa, constituido por un cilindro de platino e iridio.

Posteriormente, las unidades-patrón sirvieron de modelo exacto para la elaboración de unidades múltiplo y submúltiplo, así como para la realización de las medidas, nunca exactas, que se utilizan en la vida cotidiana. Ya en nuestros días se planteó la necesidad de definir la unidad patrón en términos más precisos e invariables; la existencia de equipos técnicos altamente desarrollados lo ha hecho posible. Así, el segundo se ha definido en términos de vibraciones del átomo de cesio; y en cuanto al metro, se define desde 1960 como igual a 1.650.763,73 veces la longitud de onda, en el vacío, de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$ del átomo de kriptón-86, definición que por inaprensible que resulte tiene la ventaja de responder a un fenómeno invariable, ya que la longitud de una onda en el vacío de una radiación óptica de un átomo no perturbado es un patrón que puede reproducirse en todo tiempo y lugar por un especialista que disponga del equipo técnico necesario.



balanza de precisión
(mide la masa)



termógrafo (registra
las variaciones de
temperatura en el tiempo)



galvanómetro (mide
la intensidad de la
corriente eléctrica)



tester (puede efectuar
diversas medidas, tales
como intensidad,
resistencia y tensión
eléctricas)



barómetro aneroide
(mide la presión atmosférica)

Véase **Electricidad, instrumentos de medida; Meteorología, instrumentos; Tiempo**

Memoria

Muchas de nuestras acciones, desde las más simples hasta las más complejas, están basadas en la memoria, el recuerdo de las experiencias pasadas. Sin la memoria no sabríamos dónde se encuentran nuestros vestidos ni cómo ponémoslos; no podríamos realizar las tareas cotidianas ni podríamos acceder a todo lo que hemos aprendido. El olvido de las informaciones de las que tenemos necesidad para llevar a cabo las diversas acciones de la vida diaria puede estar causado por una alteración en alguna de las tres fases de la memoria; estas fases son: el aprendizaje, o registro de las informaciones; el almacenamiento, o retención de la información; y el recuerdo, o reclamación a la mente de la información cuando es necesaria.

Estructura de la memoria Cuando se aprende por primera vez un hecho, en la mente se crea una *señal mnemónica* (la señal mnemónica indica no un trayecto físico, sino una operación de la mente). Pensar que Enrique VIII tuvo seis mujeres, o repetir la información, ayuda a aprender reforzando la señal. El hecho de que una cosa sea aprendida desde el comienzo más o menos bien condiciona durante cuánto tiempo será retenida y durante cuánto tiempo podrá ser reclamada a la mente.

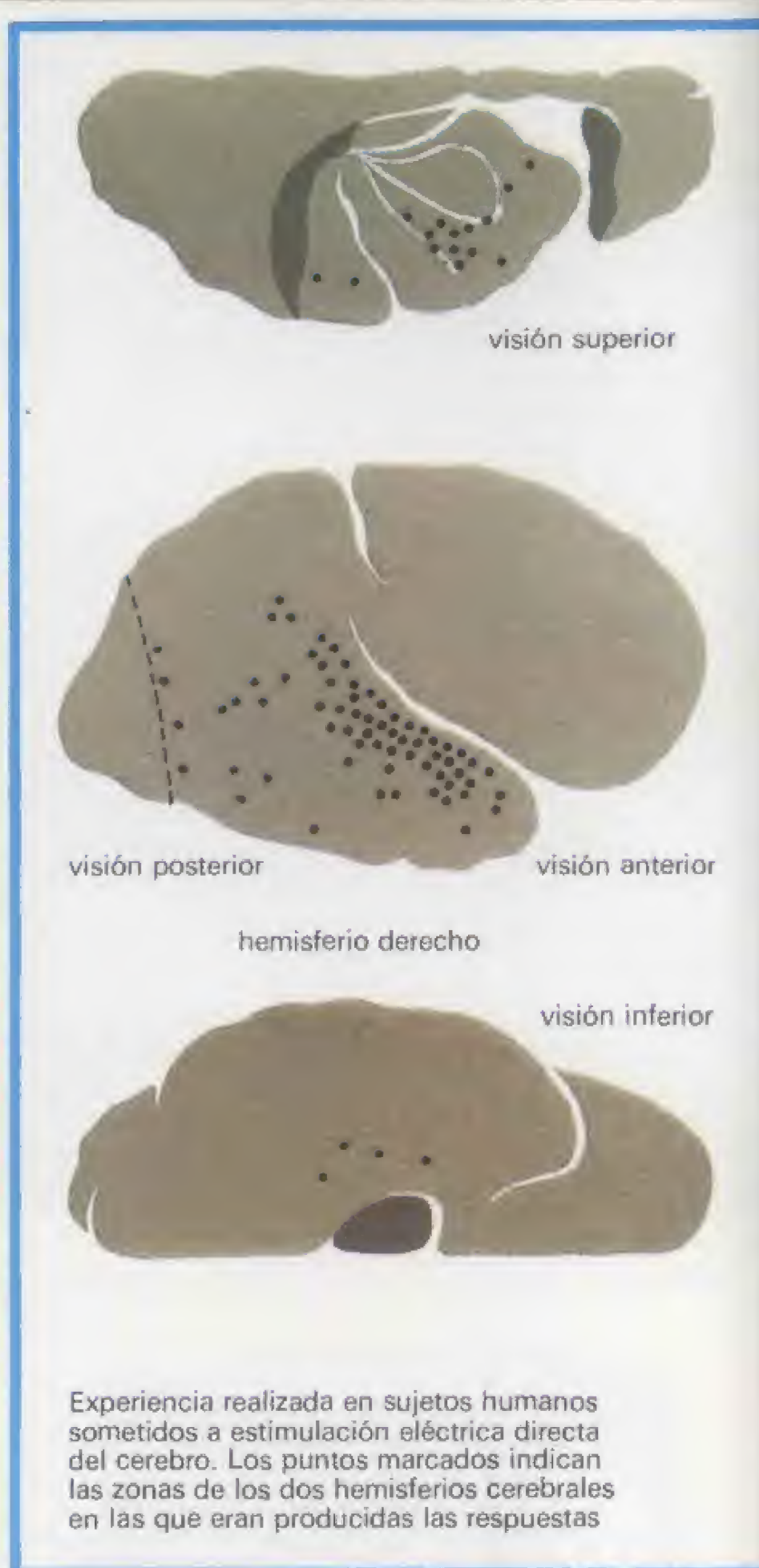
El tiempo que pasa entre el aprendizaje de un hecho y su reclamo a la mente constituye la fase de retención. Según una teoría, en esta fase mnemónica el recuerdo se va debilitando si no es utilizado. Si pasa un año entre el momento en que un estudiante ha estudiado a Enrique VIII y el momento en que ha de realizar el examen, sin ulteriores repeticiones de los hechos, es poco probable que logre conservar el recuerdo. Según otra teoría, la memoria se entiende como una serie de relaciones entre imágenes o ideas y son precisamente estas relaciones las que se debilitan si no se refuerzan.

En las teorías sobre los procesos mnemónicos, este concepto de relación o de asociaciones es fundamental.

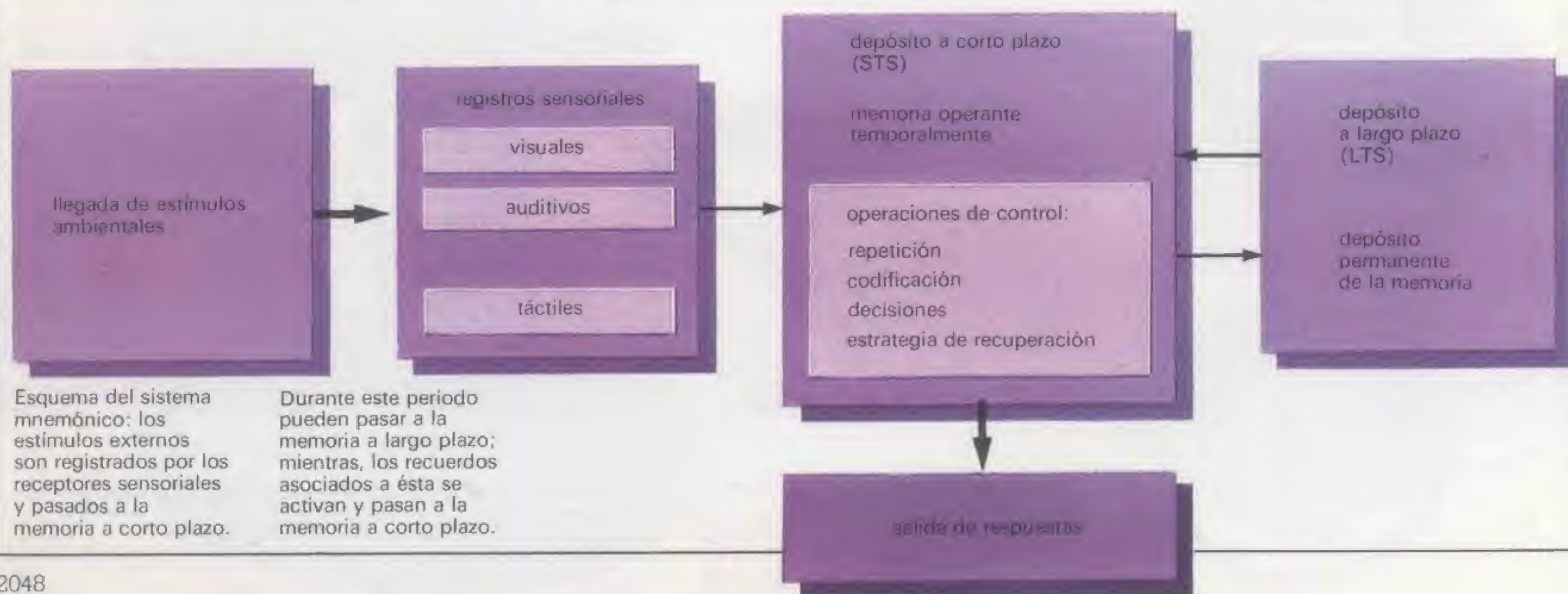
La *asociación* es el procedimiento con el que la memoria encuentra informacio-

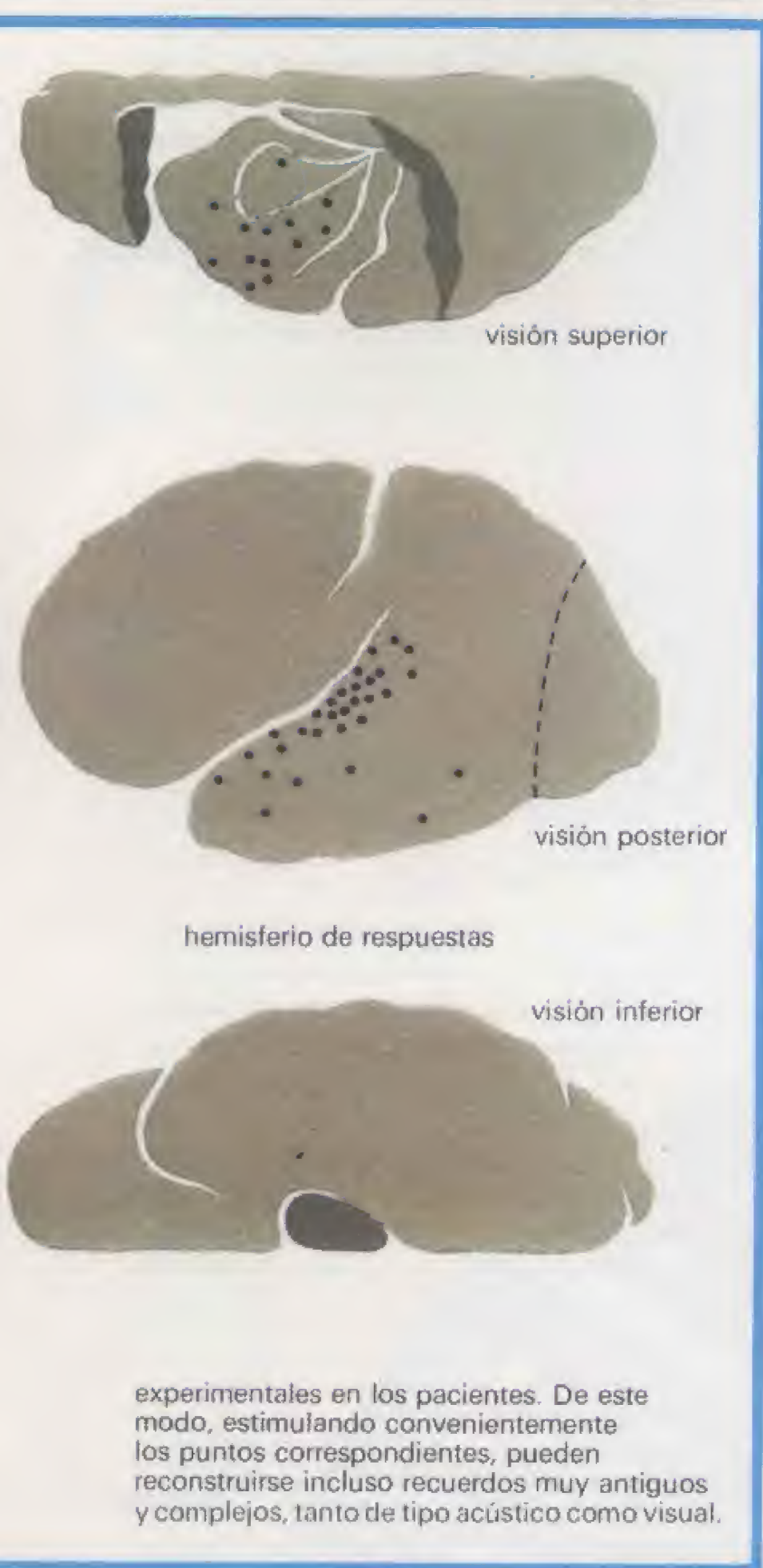
nes distintas unidas unas a otras. Los recuerdos están unidos entre sí formando asociaciones. El recuerdo de una información puede llevar a otra información distinta, como si se siguiese un hilo desde un extremo al otro. Estos puntos o ideas unidas pueden utilizarse como estímulos que ayudan a recordar la información. La pregunta "¿Cuántas mujeres tuvo Enrique VIII?" puede ser un estímulo que lleva directamente a la respuesta. Pero algunos estímulos no corresponden a su señal mnemónica, a causa del modo en que la información ha sido almacenada; en este caso, en efecto, la mente ha unido el estímulo a informaciones distintas y se está siguiendo un hilo equivocado. La pregunta directa puede no sugerir el estímulo a la memoria, mientras que la visión del reloj que se llevaba cuando se estudiaba Enrique VIII puede ayudar a recordar la información, debido a que Enrique VIII y el reloj están asociados en nuestra mente con aquella particular fase del estudio. Para reclamar a la mente los recuerdos es necesario encontrar un estímulo eficaz.

La memoria puede ser inhibida, por otro lado, por recuerdos en competencia entre sí, o por interferencias. Naturalmente cada información está asociada a muchas otras y, en consecuencia, existen muchas series o vías de informaciones. Una de estas vías o grupos de información puede predominar sobre otra, de modo que no se logra seguir el estímulo hasta la idea final que se pretendía alcanzar. La *interferencia proactiva* se verifica cuando los recuerdos antiguos interfieren con lo que se acaba de aprender. La *interferencia retroactiva* consiste en lo contrario: el nuevo aprendizaje interfiere con la capacidad de conservar antiguos recuerdos. Según algunos investigadores, la interferencia es responsable del olvido, es decir, que todos los recuerdos retenidos pueden ser bloqueados por recuerdos contrastantes aprendidos previamente o a continuación. Naturalmente no todos los recuerdos interfieren entre sí recíprocamente; esta descripción simplificada no abarca, efectivamente, la enorme complejidad y cantidad de las informaciones y de las asociaciones que la memoria puede tratar.

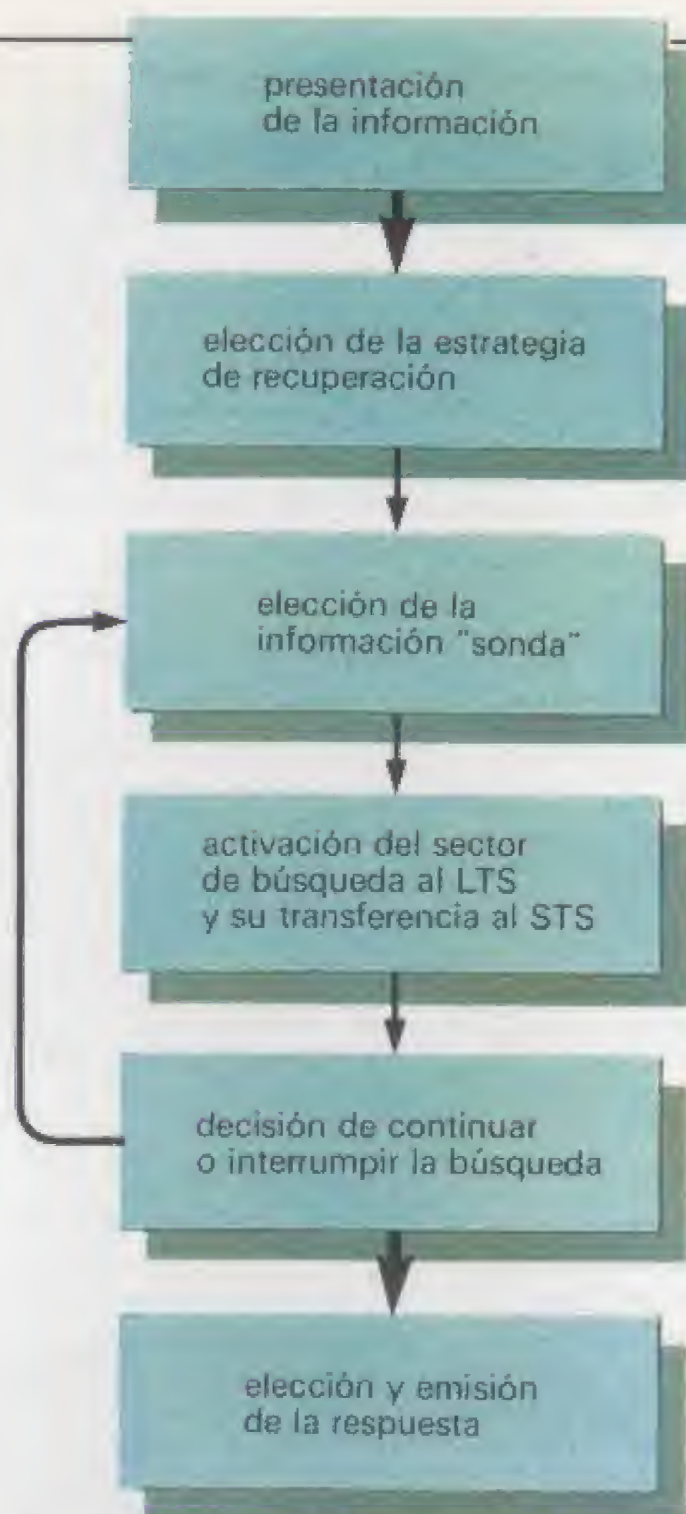


Memoria a corto y a largo plazo Algunos psicólogos dividen la memoria en *memoria a corto plazo* (STM) y *memoria a largo plazo* (LTM). La memoria a corto plazo contiene informaciones directas, todavía actuales, informaciones presentes apenas registradas por los sentidos, y el acceso a ellas es inmediato. La memoria a largo plazo contiene todas las otras informaciones almacenadas en la memoria, todas las experiencias pasadas. La memoria a corto





plazo puede contener aproximadamente unas siete ideas distintas, que son rápidamente perdidas si la atención se dirige a nuevas informaciones. Esto explica por qué, si se está distraído, se puede olvidar enseguida una serie de instrucciones recién recibida. La memoria a corto plazo puede retener las informaciones solamente si se presta atención. Por ejemplo, repetir un número telefónico hace que permanezca en nuestra mente, así como visualizarlo en la lista o recordar la voz de la telefonista que lo dice. Repitiendo la información se refuerza también su señal mnemónica en la memoria a largo plazo. Algunos psicólogos piensan que la memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo son dos mecanismos distintos, haciendo notar cómo algunos pacientes que sufren lesiones en el hipocampo, una región del cerebro, no pueden incorporar nuevas informaciones a la memoria a largo plazo, mientras que las funciones de su memoria a corto plazo permanecen inalteradas. Los partidarios de la teoría de los dos sistemas hacen notar también, como significativo de esa dualidad, la diferencia entre las memorias a corto y largo plazos en lo que respecta a su distinta capacidad y a la duración de la retención de las informaciones.



La recuperación de informaciones de la memoria a largo plazo se basa en una selección y en una particular modalidad de ejecución por la cual una cierta información es colocada en el depósito a corto plazo, donde realiza la función de "sonda".

En consecuencia, se tiene la activación de un sector concreto de la memoria a largo plazo, que se sitúa en la memoria a corto plazo y es controlado para la búsqueda de la información deseada. Si el resultado es negativo, la búsqueda se interrumpe o se repite.

Otros sostienen que existe un único sistema de almacenamiento, atribuyendo la memoria a corto plazo a niveles muy bajos de aprendizaje que crean señales mnemónicas muy débiles y efímeras.

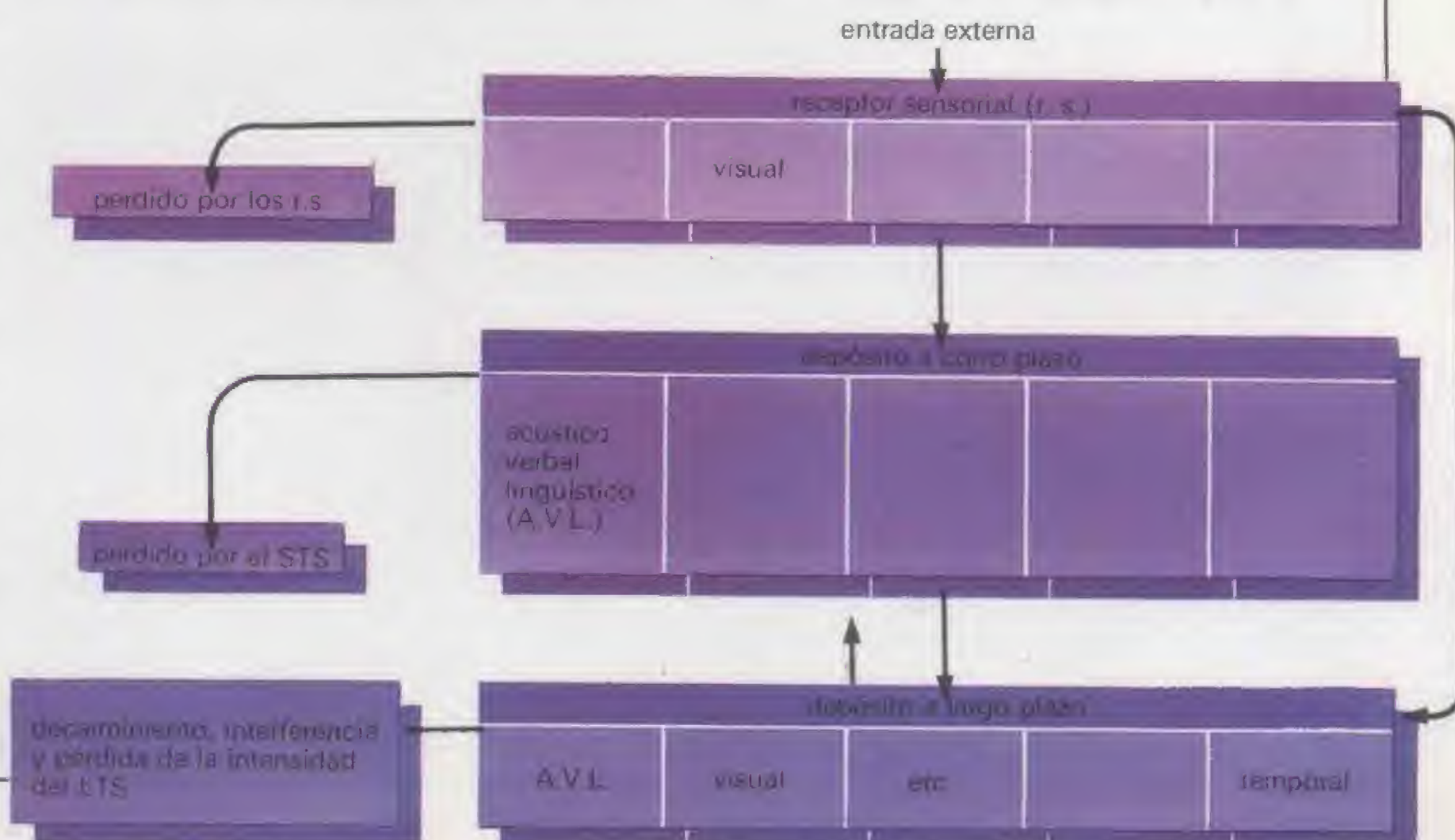
Aprender y volver a aprender La memoria, naturalmente, no consiste sólo en volver a pensar en ciertos hechos específicos. Mientras se aprende, se adquieren

nuevos conceptos y modelos que se colocan en relación y se asocian entre sí en la memoria. Cuanto más se logra unir las nuevas informaciones a lo que está ya presente en la memoria, tanto más fácil resulta aprender. Esto se denomina *aprendizaje significativo*. La información está asociada a conceptos o modelos ya insertos en la memoria y se convierte en accesible a través de los estímulos de otros recuerdos unidos a ella. Recordar, por ejemplo, que en el infierno de Dante las penas corresponden a los pecados cometidos, puede ayudar a recordar a qué penas son condenados ciertos personajes. Cuanto más fuerte es la señal mnemónica, tanto mejor se logrará retener el recuerdo o bien reclamarlo a la mente. Repeticiones intermitentes para recordar la información, incluso después de que se ha adquirido un perfecto dominio —*aprendizaje por exceso*—, refuerzan la memoria. Es probable que si se continuase repitiendo los nombres de las mujeres de Enrique VIII incluso después de ser capaces de recitarlos de memoria fácilmente, se recordarían durante más tiempo. Los resultados del aprendizaje son mejores cuando el estudio se desarrolla gradualmente, en más veces, que cuando se concentra en un solo período.

Esto explica por qué llenarse la cabeza de conceptos puede ayudarnos a superar un examen el día siguiente, pero es el aprendizaje gradual, durante un período de tiempo más prolongado, el que ofrece más posibilidades de retener la información.

Por otra parte, volver a aprender —es decir, aprender las informaciones que ya fueron aprendidas pero que no se logra recordar— parece que constituye una ayuda para la memoria. El material que se reaprende es retenido durante más tiempo, dominado más rápidamente y con menor esfuerzo que las informaciones nuevas.

Véase **Cerebro; Fisiología; Nervioso, sistema**



Menstruación

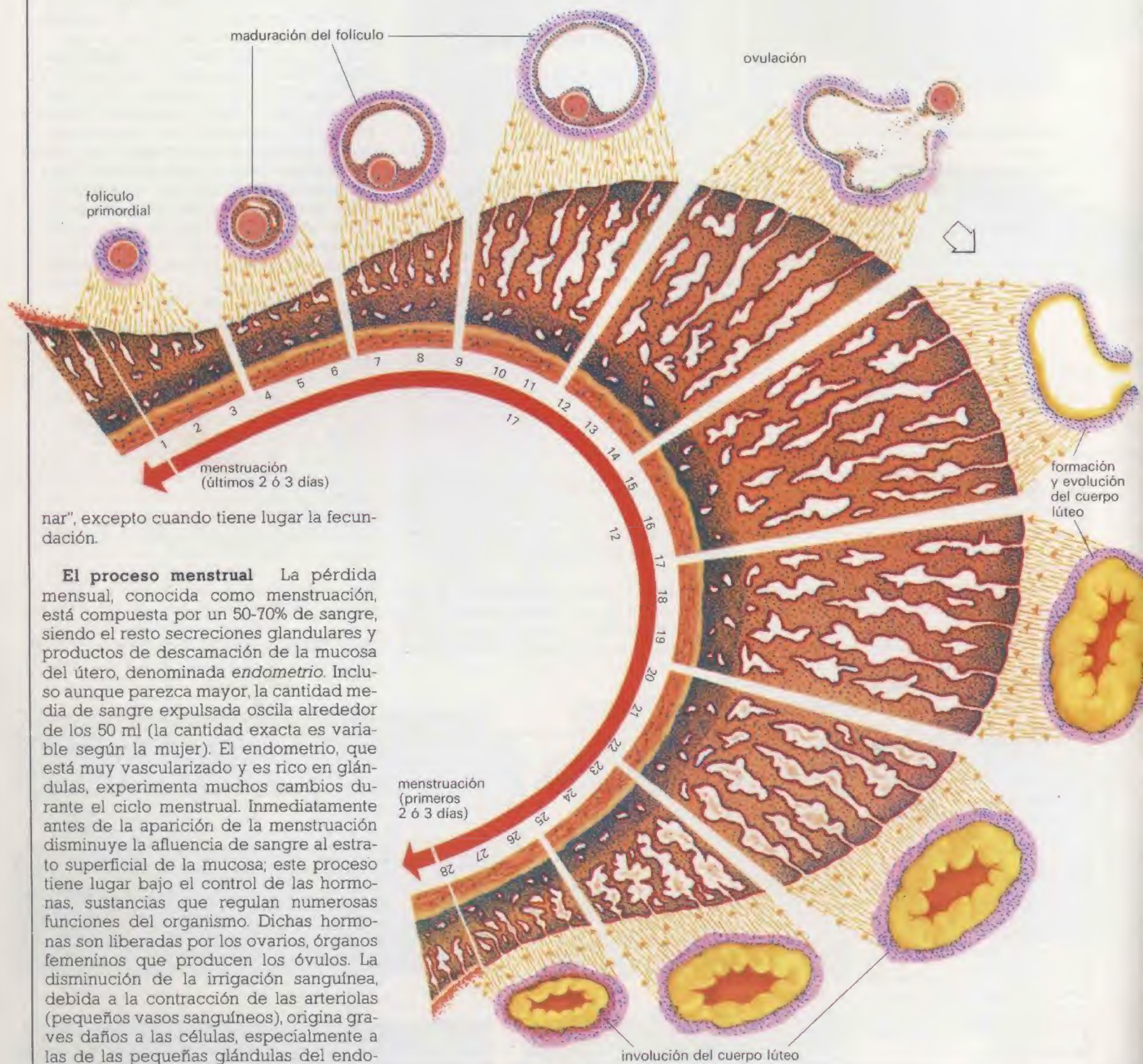
En tiempos pasados la menstruación era considerada como una señal de la influencia que la Luna ejercía sobre la vida humana. En muchas sociedades, y en culturas muy distintas, la primera menstruación posee el significado del paso de la infancia a la pubertad, por cuanto desde ese momento la mujer es ya capaz de concebir y de dar a luz un hijo.

Derivada del término latino *mensis*, que significa "mes", la *menstruación* indica, efectivamente, el comienzo del ciclo reproductivo femenino. Consiste en la pérdida de sangre y de células epiteliales del tracto genital que se verifica periódicamente cada 28 días, es decir, cada "mes lu-

metrio. Este daño a las células de la mucosa uterina da lugar a una degeneración de la propia mucosa, de la cual deriva la hemorragia. Al contrario de lo que sucede en las hemorragias que se producen en las heridas, la sangre menstrual no se coagula (debido a la presencia de una proteína denominada *plasmina*). Este proceso tiene lugar en el endometrio en tiempos distintos: después de la hemorragia inicial, otros tejidos ricos en sangre se descaman por las heridas abiertas en la mucosa uterina y caen en la luz del útero y posteriormente llegan a la vagina. Después de pocos días se inicia la curación y, a medida que los niveles hormonales

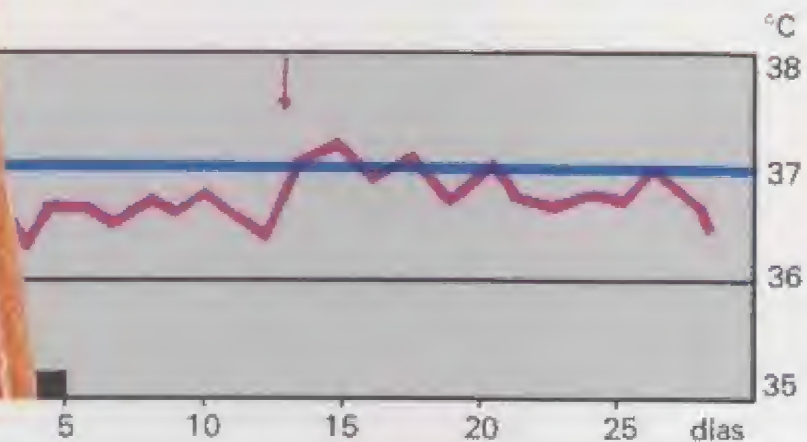
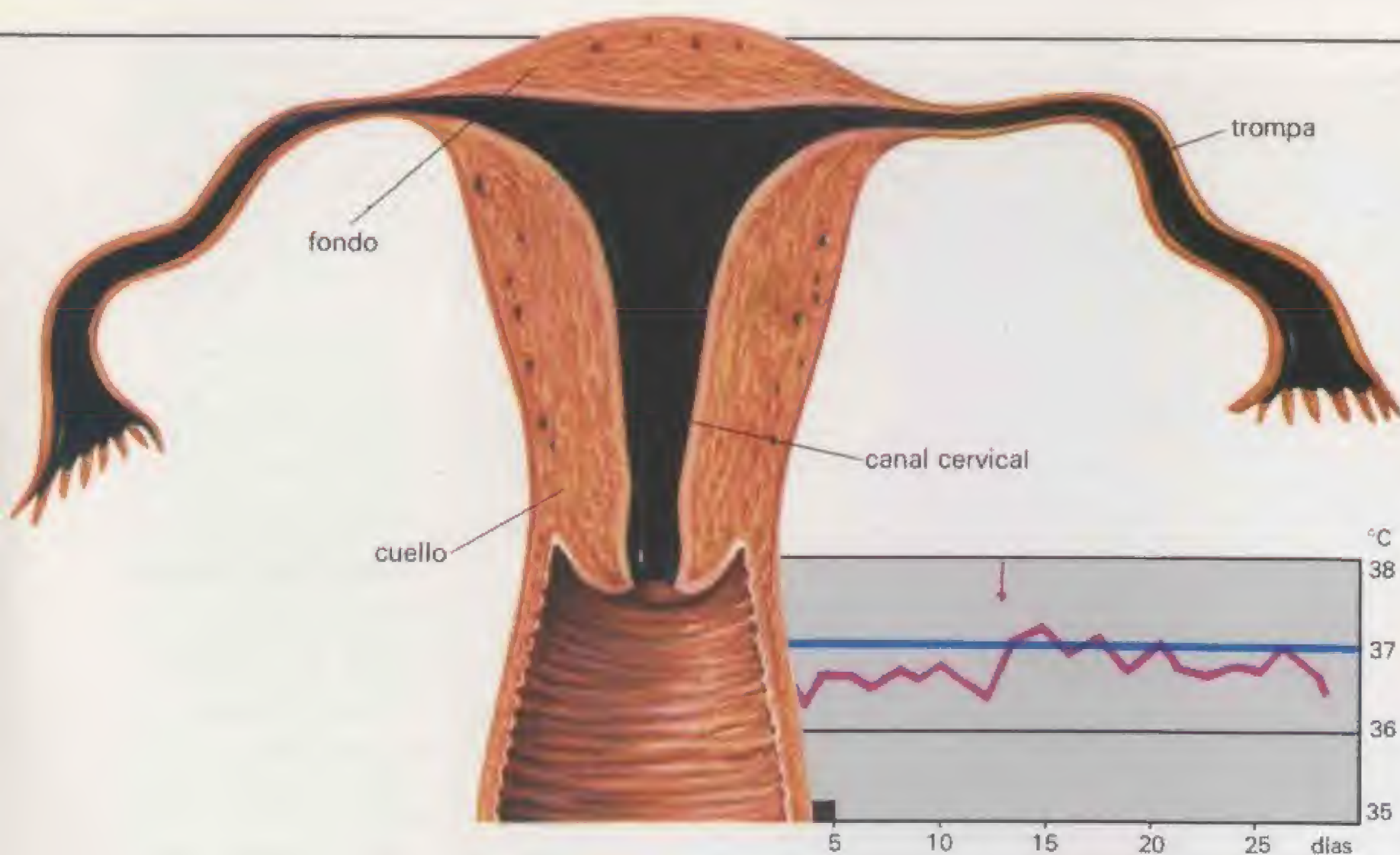
de la sangre cambian, el endometrio comienza a regenerarse. Durante el ciclo menstrual (llamado comúnmente *período*), y algunos días después de la menstruación, tiene lugar la ovulación: un óvulo maduro y en condiciones de ser fecundado se desprende del ovario, desciende a lo largo de una de las trompas y en este lugar puede tener comienzo uno de los más importantes ciclos humanos: el embarazo, que culmina con el nacimiento de un nuevo individuo.

Síntomas de la menstruación La primera menstruación tiene lugar generalmente en muchachas de edades com-



nar", excepto cuando tiene lugar la fecundación.

El proceso menstrual La pérdida mensual, conocida como menstruación, está compuesta por un 50-70% de sangre, siendo el resto secreciones glandulares y productos de descamación de la mucosa del útero, denominada *endometrio*. Incluso aunque parezca mayor, la cantidad media de sangre expulsada oscila alrededor de los 50 ml (la cantidad exacta es variable según la mujer). El endometrio, que está muy vascularizado y es rico en glándulas, experimenta muchos cambios durante el ciclo menstrual. Inmediatamente antes de la aparición de la menstruación disminuye la afluencia de sangre al estrato superficial de la mucosa; este proceso tiene lugar bajo el control de las hormonas, sustancias que regulan numerosas funciones del organismo. Dichas hormonas son liberadas por los ovarios, órganos femeninos que producen los óvulos. La disminución de la irrigación sanguínea, debida a la contracción de las arteriolas (pequeños vasos sanguíneos), origina graves daños a las células, especialmente a las de las pequeñas glándulas del endo-



prendidas entre los 10 y 16 años, y recibe el nombre de *menarquia*. Todas las niñas deberían ser preparadas e informadas sobre este acontecimiento, de manera que no se asusten ante la aparición de su primera menstruación. La sintomatología es muy diversa y varía de unas mujeres a otras: algunas se sienten fatigadas durante el período menstrual, nerviosas o deprimidas; otras no experimentan ningún trastorno o solamente muestran alteraciones ligeras que no les impiden desarrollar

Sobre estas líneas, sección que pone de manifiesto el interior del útero y de las trompas, donde se ha introducido un medio de contraste para mostrar la cavidad. En el recuadro se representa la temperatura basal durante un ciclo menstrual normal. El ascenso brusco que se observa (flecha roja)

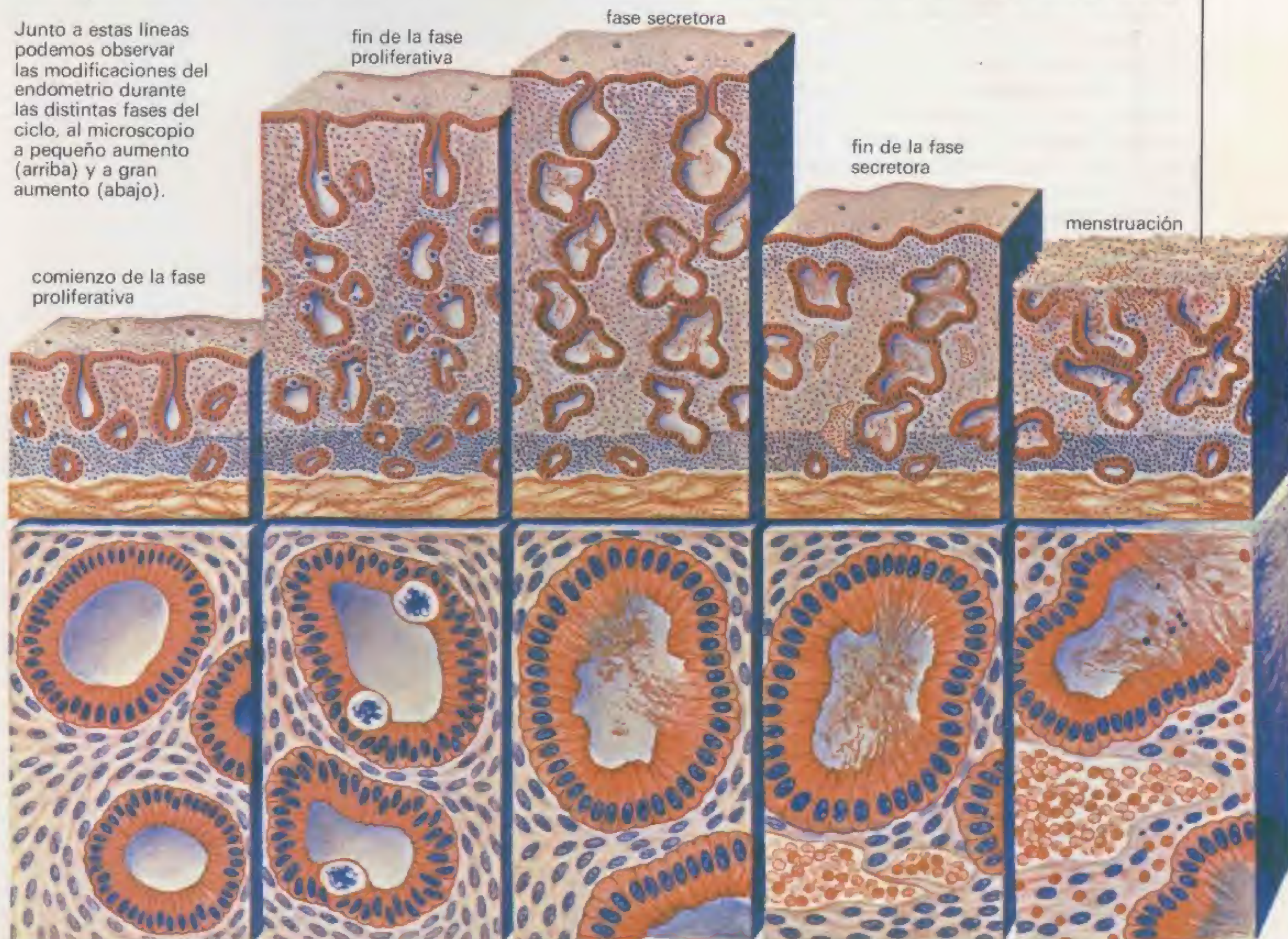
cerca del duodécimo día señala el momento que precede a la ovulación; el trazado indica el período menstrual. La medición de la temperatura basal es precisamente el fundamento del método ciclotérmico para determinar los días "fértil" y así controlar la natalidad.

normalmente sus actividades cotidianas; otras mujeres, por el contrario, tienen menstruaciones muy dolorosas (*dismenorrea*), acompañadas de fuertes contracciones del útero, náuseas y, en raros casos, vómitos. Estos fenómenos suceden debido a que durante el período menstrual se verifican ciertos cambios en el organismo: descenso de la temperatura y de la actividad metabólica y facilidad para las hemorragias. La duración normal del ciclo oscila entre 26 y 30 días; el flujo menstrual comienza lentamente, aumenta durante uno o dos días (*menorragia*) y posteriormente disminuye hasta desaparecer (*amenorrea* o *hipomenorrea*). La duración media de la menstruación varía entre 4 y 7 días. La mujer tiene menstruaciones y es fértil, generalmente, hasta los 45-50 años, edad en que comienza el período de la *menopausia* (finalización de las menstruaciones). La edad en la que la mujer entra en la menopausia es extremadamente variable, ya que depende de factores individuales: si, por ejemplo, una mujer ha tenido su primera menstruación alrededor de los 9-10 años, ello indica que posee unos elevados niveles hormonales y que por tanto tendrá menstruaciones hasta cerca de los 50 años. Por el contrario, en las mujeres en las que la primera menstruación aparece más tardíamente, alrededor de los 14-15 años, es frecuente una menopausia precoz.

Véase **Adolescencia; Concepción; Fecundación e inseminación artificial; Genital, aparato; Ginecología**

En la página anterior, correlación entre maduración del folículo, ovulación, formación, evolución e involución del cuerpo lúteo con las modificaciones que tienen lugar en el útero y la sucesión de los días del ciclo menstrual. Al comienzo del ciclo, la mucosa tiene un espesor de 1-1,5 mm; desde el 5º al 14º días del comienzo de la menstruación, la mucosa se ensancha hasta llegar a los 6-8 mm y las glándulas se alargan haciéndose sinuosas. Cuando sucede la ovulación, las glándulas segregan abundantemente y el tejido que las circunda se torna túrgido. En el 28º día se inicia un proceso de destrucción; la sangre se vierte en el espesor de la mucosa, separando el estrato funcional del estrato basal: el primero se fragmenta en fracciones que se eliminan. De este modo se inicia la menstruación. Cualquier trastorno en esta secuencia de acontecimientos puede ser causa de esterilidad.

Junto a estas líneas podemos observar las modificaciones del endometrio durante las distintas fases del ciclo, al microscopio a pequeño aumento (arriba) y a gran aumento (abajo).



Mercurio (elemento)

NOMBRE	MERCURIO
SIMBOLO	Hg
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del planeta Mercurio; el símbolo del latín <i>hydrargirium</i> "plata viva"
N. ATOMICO	80
PESO ATOMICO	200,59
ESTADO NATURAL	en el cinabrio, metacinabarita, coloradita, montroita
DESCUBRIMIENTO	conocido en la antigua Roma
PRODUCCION	tostación de sulfuro o calentamiento del sulfuro con hierro o cal
P. f. (°C)	-38,87
P. eb. (°C)	356,58
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	13,593
PROPIEDADES Y APLICACIONES	liquido móvil químicamente inerte; usado en barómetros de mercurio, lámparas de rayos ultravioleta; algunos compuestos orgánicos se usan en Medicina

Un día de 1956, en un pueblecito japonés de pescadores llamado Minamata, aparecieron muertos casi todos los gatos. Esos animales habían dado muestras primero de un comportamiento muy extraño, delirante, que después concluía tirándose de cabeza al mar. También los habitantes del pueblo comenzaban a sufrir una enfermedad extraña y terrible, que afectó después a miles de personas, cuyos síntomas se manifestaban en convulsiones, inestabilidad emotiva, parálisis y lesiones cerebrales, que conducían a menudo a la muerte: las autopsias llevadas a cabo a las víctimas del *morbo de Minamata*, como fue después llamado, desvelaron que su cerebro había sido dañado por alguna sustancia, dejándolo como "esponjoso". Tal sustancia dañaba también los fetos de niños aún no nacidos y fueron numerosos los casos en los cuales madres aparentemente sanas tuvieron hijos deformes y retrasados mentales.

Finalmente se descubrió que no se trataba de una enfermedad, sino de un fenómeno de envenenamiento. La sustancia venenosa había contaminado el mar, del cual los habitantes de Minamata dependían para su subsistencia. La sustancia procedía de una industria química local, que descargaba los desechos de sus procesos productivos en la bahía del pueblo. Uno de los constituyentes de esos desechos era el mercurio, que después lo absorbían peces y crustáceos. Los gatos y los habitantes de Minamata se nutrían básicamente de productos de la pesca y asimilaban de esta forma el mercurio que éstos contenían.

La intoxicación de mercurio se conoce desde hace mucho tiempo y constituye uno de los riesgos profesionales de los trabajadores de muchas industrias. La expresión "loco como un sombrerero" tiene su origen en el siglo XIX y deriva de los frecuentes envenenamientos que afectaban a los obreros de las fábricas de sombreros, expuestos a los peligros del mercurio



El mercurio nativo (a la izquierda) es el único mineral que se presenta en estado líquido a temperatura ambiente (cristaliza a -69°C). Es escaso, pero ampliamente aprovechado por sus múltiples aplicaciones industriales. Se ha revelado como un contaminante de alta toxicidad. En la foto, el mercurio en típica asociación con el cinabrio. Las minas más importantes de cinabrio (sulfuro de mercurio) son las de Almadén (España). Abajo, a la izquierda, vemos una gota de mercurio elemental colocada sobre un vidrio y otra sobre un trozo de cobre; en este último caso, el mercurio, después de un tiempo, forma con el cobre una amalgama.

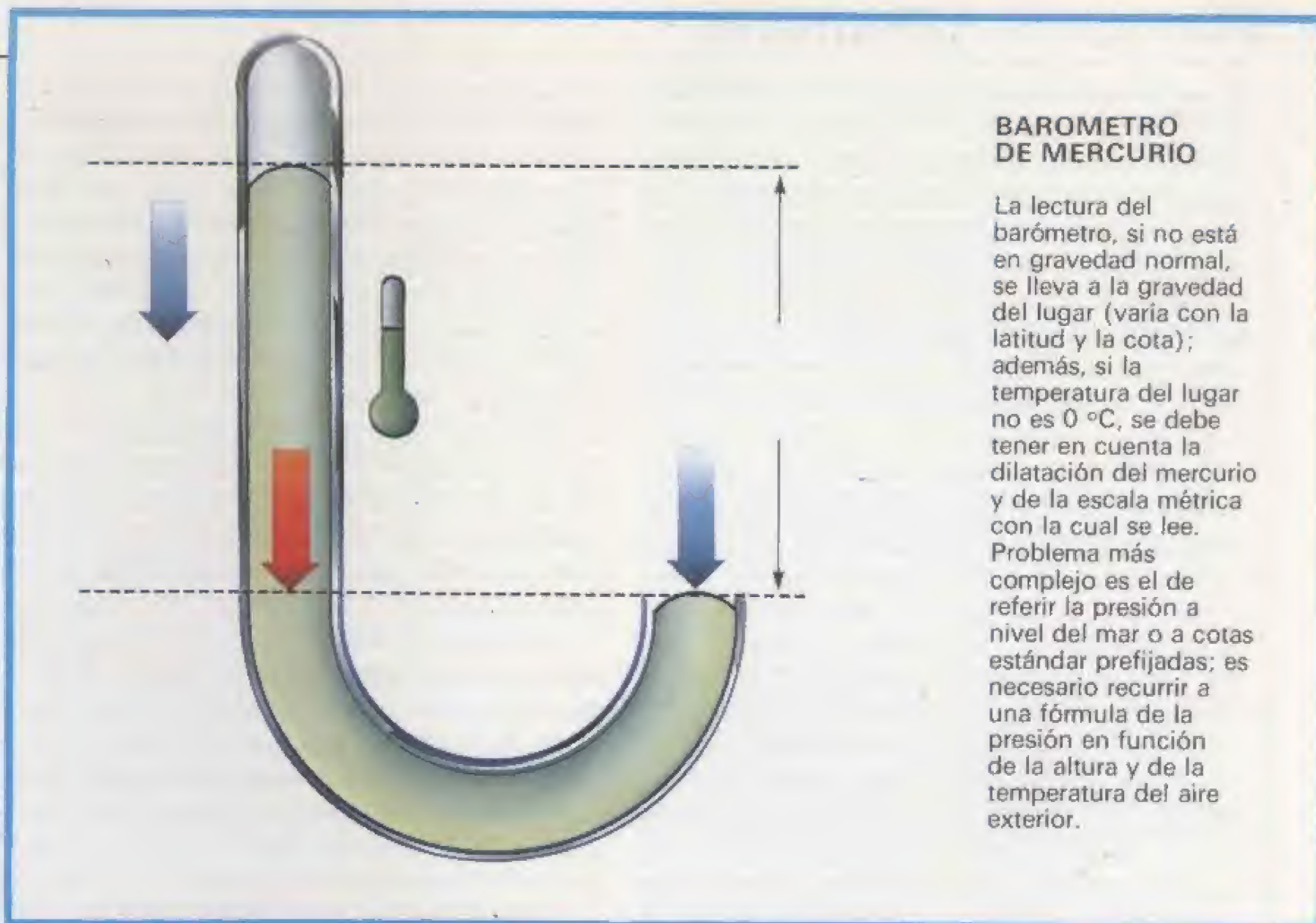


a

empleado en el tratamiento de la lana utilizada para confeccionar los sombreros de fieltro. A pesar de los peligros que conlleva su uso, el mercurio posee características físicas y químicas tales que le hacen indispensable en un gran número de aplicaciones.

El metal líquido Las propiedades físicas del mercurio se diferencian de las de cualquier otro metal. Es un líquido de elevado peso específico, de aspecto blancoplateado, y es el único metal líquido a temperatura ambiente. Los alquimistas lo llamaban *plata viva*. El símbolo químico del mercurio es Hg, de su nombre latino *Hydrargyrum*, que significa "agua de plata". Posee una elevada tensión superficial. En efecto: sus moléculas presentan una gran cohesión y, como resultado, cuando se derrama sobre una superficie plana, forma pequeñas bolitas en lugar de extenderse sobre ella.

Como todos los metales, cuando se le somete a calentamiento se dilata ligeramente,



BAROMETRO DE MERCURIO

La lectura del barómetro, si no está en gravedad normal, se lleva a la gravedad del lugar (varía con la latitud y la cota); además, si la temperatura del lugar no es 0 °C, se debe tener en cuenta la dilatación del mercurio y de la escala métrica con la cual se lee. Problema más complejo es el de referir la presión a nivel del mar o a cotas estándar prefijadas; es necesario recurrir a una fórmula de la presión en función de la altura y de la temperatura del aire exterior.



b

El mercurio puede dar dos clases de compuestos: los *mercuriosos* y los *mercúricos*, con número de oxidación +1 y +2, respectivamente. Por adición de hidróxido de potasio a una disolución de cloruro mercúrico se



c

forma un precipitado de óxido de mercurio, de un bonito color amarillo (a). Por adición de yoduro de potasio a una disolución de nitrato mercurioso se forma yoduro mercurioso (b), de color amarillo si es puro (en general verde



d

por la presencia de mercurio metálico). De una disolución de cloruro mercúrico por adición de yoduro de potasio se forma un precipitado naranja de yoduro mercúrico (c). Añadiendo amoníaco a una disolución de nitrato mercurioso, se



e

forma mercurio y nitrato mercurioamoniaco (d). Añadiendo amoníaco a una disolución de cloruro mercúrico (HgCl_2), se forma un precipitado de color blanco que es el cloruro-amido-mercúrico.

mente, pero a diferencia de muchos otros la progresión de su dilatación es uniforme con el aumento de la temperatura. Por este motivo es muy adecuado como líquido termométrico.

También sus propiedades químicas son únicas. Es más bien inerte, pero disuelve muchos metales produciendo aleaciones llamadas *amalgamas* (el níquel y el hierro están entre las excepciones de esta propiedad). Su peso específico lo hace muy apropiado para su empleo en los barómetros. El mercurio —líquido o gaseoso— es también un buen conductor de la electricidad; se usa en numerosos aparatos eléctricos, como las baterías y las lámparas de mercurio. Las baterías de mercurio pueden ser muy pequeñas y resultan por tanto útiles cuando los problemas de espacio son muy importantes, como sucede en los aparatos acústicos para sordos y en los vehículos espaciales. Las lámparas solares a menudo contienen mercurio porque la descarga eléctrica en los vapores de mercurio provoca la emisión de rayos ultravioleta, similares a los presentes en la radiación solar.

La propiedad del mercurio de disolver otros metales es muy útil en algunos procesos industriales: la amalgama con mercurio, por ejemplo, es uno de los métodos para recuperar oro y plata. Algunos compuestos del mercurio, además, se usan como catalizadores en numerosos procesos industriales.

Hace algún tiempo, ciertos compuestos del mercurio eran ampliamente utilizados para la fabricación de fungicidas y pesticidas, pero el peligro de envenenamiento que conlleva hace que sea muy importante eliminar esta sustancia de todos aquellos procesos industriales que potencialmente sean contaminantes.

Véase **Barómetro; Metales**

Mercurio (planeta)

Imaginemos que estamos en el ecuador y observamos un amanecer muy extraño. El Sol, alzándose sobre el horizonte, aparece tres veces mayor de como normalmente lo vemos. Ascende lentamente, se detiene en el cenit y empieza a volver hacia atrás. Poco después invierte nuevamente su camino y sigue desplazándose hacia el lejano horizonte. Este es el extraño movimiento del Sol tal y como lo veríamos desde Mercurio, donde la duración del día (es decir, el tiempo que necesita el planeta para efectuar una revolución completa alrededor de su eje) equivale a unos 59 días terrestres.

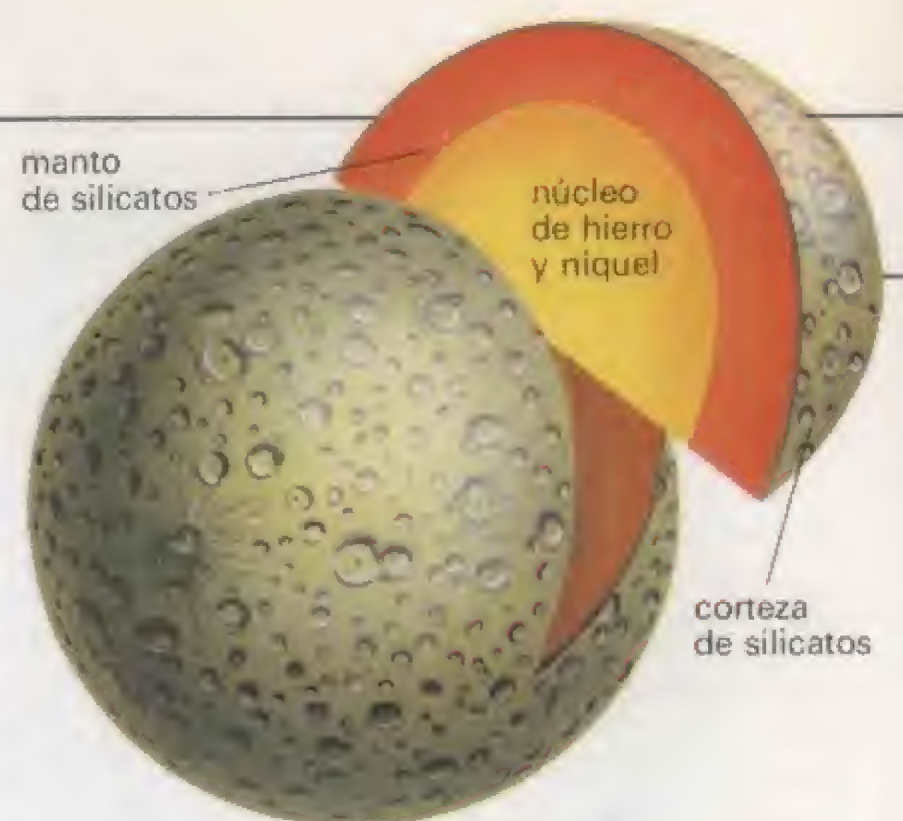
Sin embargo, es muy improbable que cualquier ser humano tenga la posibilidad de observar el extraño espectáculo mencionado, ya que, bajo los despiadados rayos solares del mediodía, la temperatura de Mercurio asciende hasta aproximadamente 425 °C. Ninguna superficie planetaria del Sistema Solar presenta unas condiciones ambientales tan duras e inhóspitas para el ser humano como este planeta.

Características de Mercurio Se trata de un planeta muy denso, sin aire, sin vida,

abrasado por el Sol. Es el planeta más pequeño del Sistema Solar y es también uno de los más extraños. El peso específico de Mercurio —igual a 5,2— hace suponer que posee un núcleo central de hierro y níquel, rodeado por un delgado manto de silicatos: una estructura similar a la de la Tierra, cuyo peso específico es 5,5. El diámetro de Mercurio es de 4.868 km, apenas superior al de la Luna.

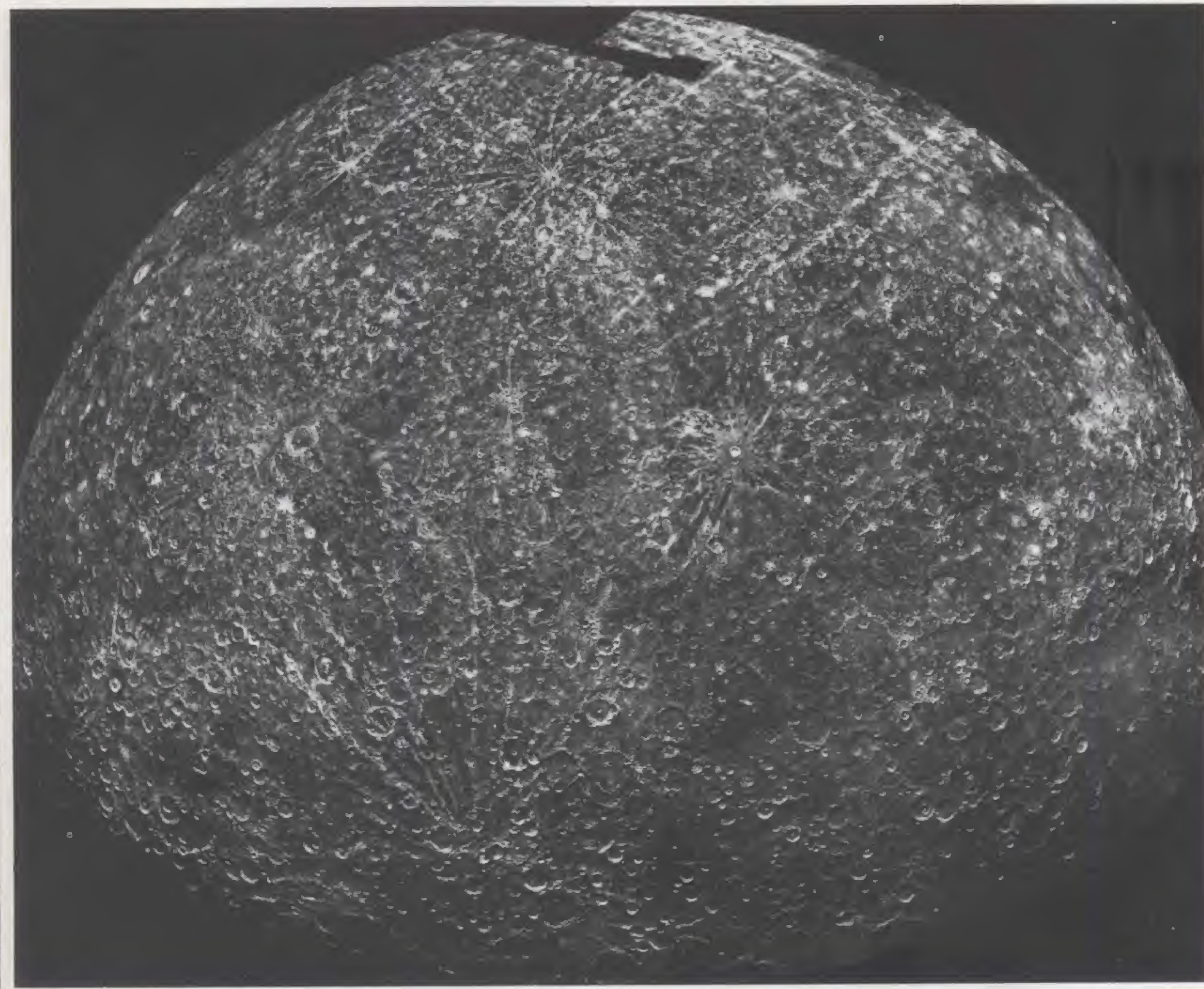
Mercurio es también el planeta más cercano al Sol. Su distancia media a éste es de 58 millones de kilómetros, aunque su órbita elíptica lo hace situarse a una distancia del astro rey en el perihelio de sólo 46 millones de kilómetros (el perihelio es el punto de la órbita de mayor aproximación al Sol). Desde la Tierra, Mercurio aparece ocasionalmente como una mancha de color anaranjado sobre el horizonte oriental momentos antes de la salida del Sol, o sobre el horizonte occidental tras la puesta del Sol.

Acoplamiento rotación-revolución Incluso con la ayuda de telescopios, la percepción visual de Mercurio ha sido siempre tan imperfecta que sus movimientos



Arriba, la supuesta estructura interna del planeta Mercurio, en la que se muestra un núcleo de excepcionales dimensiones, formado enteramente por hierro. Este es el elemento que da al planeta una densidad tan elevada como la de la Tierra (aunque en ésta dicha densidad

es imputable a la compresión de los materiales centrales debido a las mayores dimensiones del planeta). El núcleo es también el responsable de la formación del intenso campo magnético. Abajo, la fotografía muestra la gran densidad de cráteres, resultado de la acción meteorítica.





de rotación y de revolución no han podido ser determinados con exactitud durante siglos. Hasta no hace mucho se pensó que Mercurio realizaba una rotación completa alrededor de su eje cada 88 días, es decir, un tiempo igual al que empleaba para efectuar una órbita alrededor del Sol (viajando a una velocidad media de 48 km por segundo). Si esto hubiese sido cierto, es decir, si el planeta hubiese tenido esta rotación sincrónica, siempre habría tenido la misma cara dirigida hacia el Sol. Esta errónea interpretación del movimiento de Mercurio persistió hasta 1965, cuando los datos obtenidos por los radioastrónomos obligaron a aceptar una teoría distinta, aunque no por ello menos interesante.

El empleo del radar estableció por fin, y definitivamente, que Mercurio cumplía una rotación completa cada 58,65 días (respecto a una rotación de la Tierra que se concluye en 24 horas). Por lo tanto, Mercurio gira tres veces alrededor de su eje durante el tiempo que emplea en recorrer dos veces su órbita alrededor del Sol. Este fenómeno, llamado *acoplamiento rotación-revolución*, indica que, al menos aparentemente, las interacciones gravitacional-orbital de Mercurio con el Sol han alcanzado un estado permanente de estabilidad.

Características superficiales La sonda espacial *Mariner 10* lanzada por Estados Unidos, y que en 1974-75 pasó a poca distancia (del orden de cientos de kilómetros) de Mercurio, ha proporcionado fotografías muy detalladas de la superficie de este planeta. La superficie de Mercurio, oscura y muy similar a la de la Luna, carece de actividad volcánica, y está cubierta de cráteres, algunos de los cuales alcanzan tamaños de hasta 170 km de diámetro. La superficie del planeta está expuesta a intensos vientos solares (constituidos por partículas cargadas eléctricamente, en su mayor parte protones y electrones, procedentes del Sol a velocidades supersónicas) y registra temperaturas muy elevadas. Tras alcanzar máximas diurnas del orden de 425 °C, la temperatura desciende a -173 °C durante la noche.

Los cráteres datan probablemente de 3.000-4.000 millones de años y parecen estar en óptimas condiciones, lo que indica que Mercurio no tiene atmósfera (ya que no existe acción erosiva de vientos u otros agentes atmosféricos) desde hace un tiempo en este mismo orden de magnitud.

Sobre la superficie de Mercurio se observan también restos de una antigua actividad volcánica que esparció vastas coladas de lava, algunas tan grandes como mares.

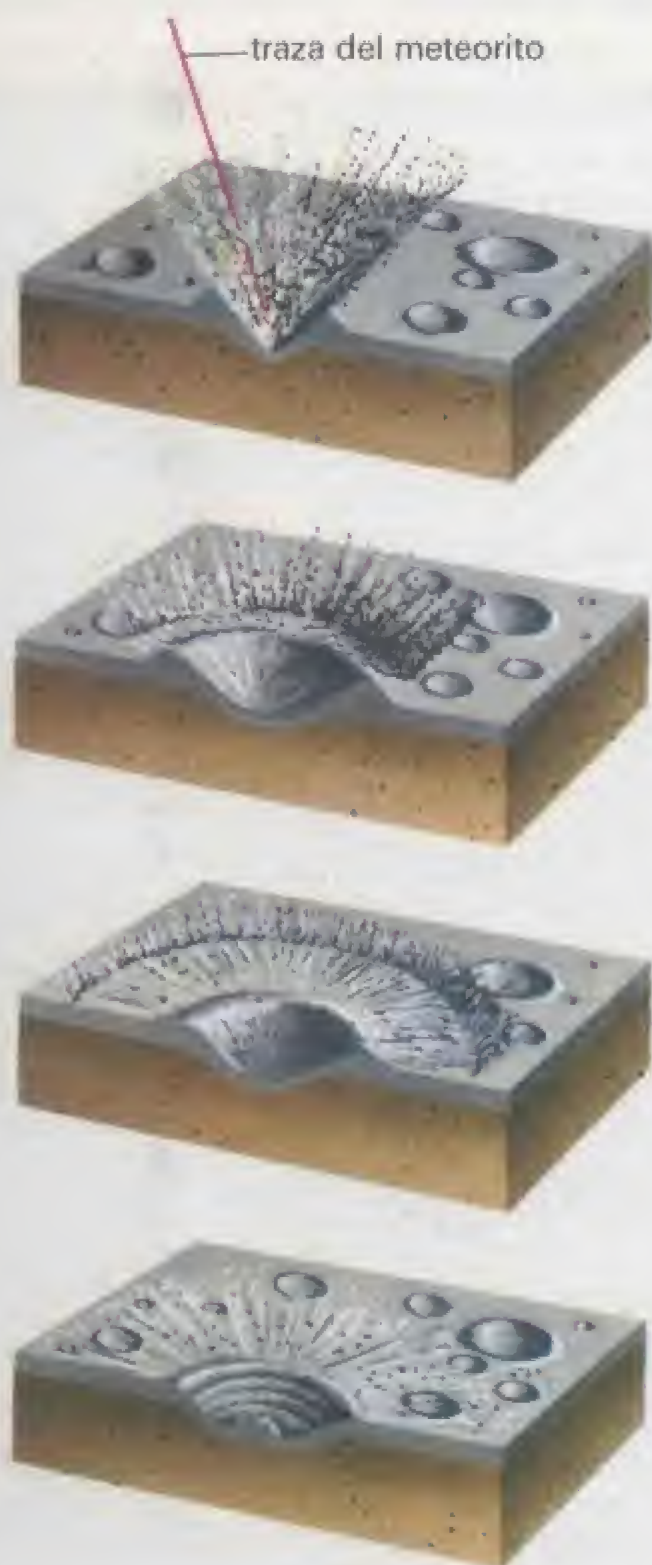
Tránsitos de Mercurio Al estar situado entre el Sol y la Tierra, Mercurio es muy difícil de observar por la presencia del halo luminoso que rodea al astro durante el día. Sin embargo, unas 13 veces cada siglo, el recorrido orbital del planeta lo lleva a atravesar el disco solar, lo que, desde la perspectiva de la Tierra, le hace aparecer como una piedrecita negra atrave-

sando la superficie de un gran globo. Los próximos pasos, denominados *tránsitos*, se verificarán el 12 de noviembre de 1986 y el 5 de noviembre de 1993, y podrán ser observados desde la Tierra. Contrastado con la superficie del Sol, el pequeño planeta resulta muy bien definido y puede ser observado incluso con unos buenos prismáticos. El Sol puede observarse con filtros u otros sistemas protectores.

Véase **Asteroide; Astronomía; Astronomía para aficionados; Júpiter; Marte; Planetas; Plutón; Radioastronomía; Saturno; Sistema Solar; Tierra; Urano; Venus**

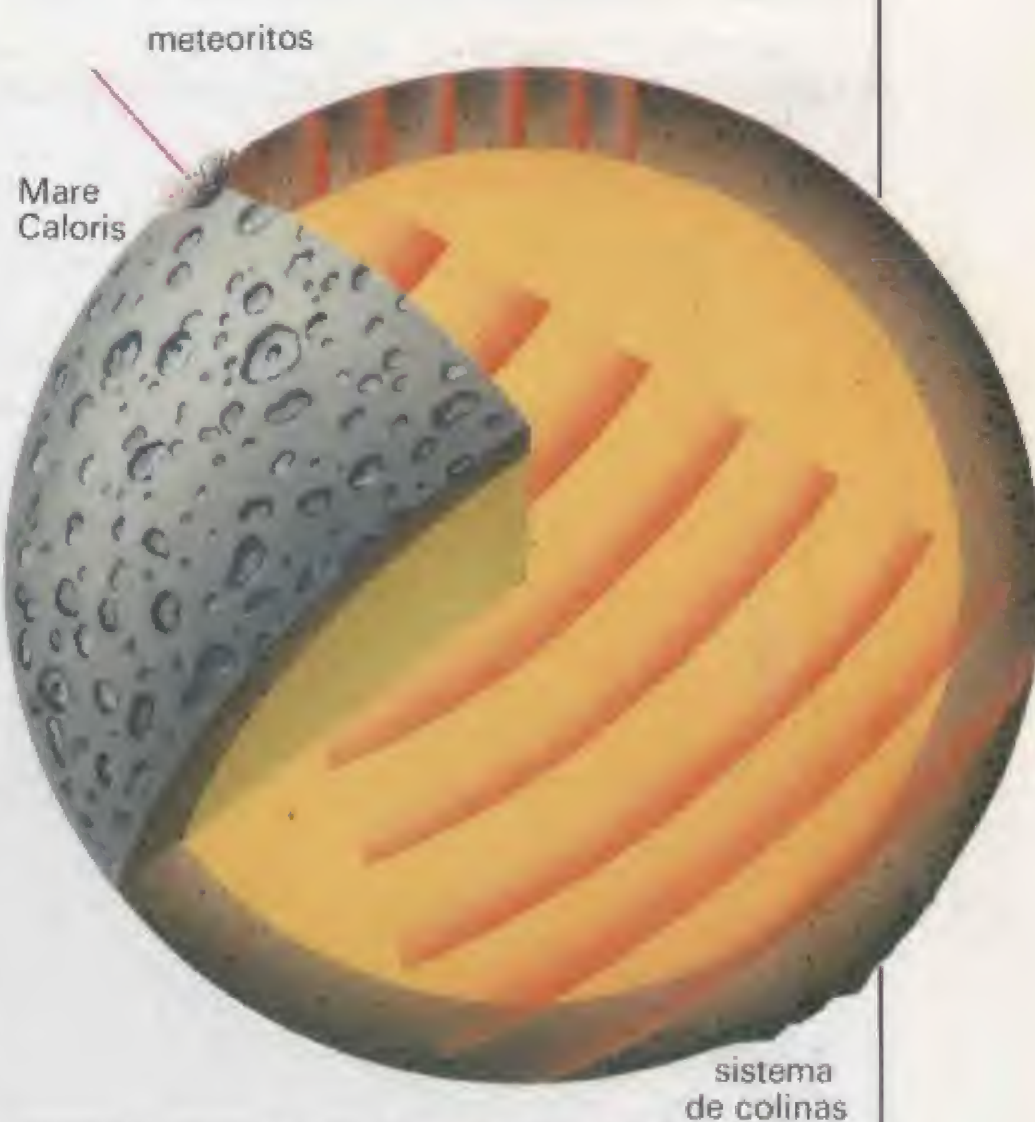
La mayor parte de los cráteres de Mercurio es de pequeño o mediano tamaño, aunque tiene algunos muy grandes e incluso hay uno que, por sus enormes dimensiones, es como un gigantesco mar: el Mare Caloris. Parece ser que se formó por el impacto de un meteorito tan

grande (bajo estas líneas) que, además de originar la rotura y hundimiento de diversas estructuras, pudo haber producido ondas sísmicas tan intensas que atravesaron todo el planeta, creando (abajo) colinas en las antípodas del punto de choque.



Sobre estas líneas se detalla la formación de un cráter por el impacto meteorítico. El cuerpo se acerca a la superficie del planeta a una velocidad de decenas de kilómetros por segundo. Esta velocidad le permite penetrar dentro de la superficie y pulverizarse,

originando así la típica construcción cratérica. Muchos materiales proyectados al exterior formarán un halo alrededor del cráter, finos trazos radiales debidos a los detritus de menor tamaño, mientras que los de mayores dimensiones forman otros cráteres. Arriba, radios del impacto.



Mesozoica, era

Si pudiéramos retroceder en el tiempo unos 100 millones de años, hasta la mitad de la era Mesozoica, podríamos pensar en un primer momento que no habíamos abandonado nuestra Era. Las llanuras y los bosques presentarían un aspecto familiar: podríamos reconocer los pinos, los helechos y la hierba, e incluso los mismos insectos (moscas, abejas, avispas) zumbaban a nuestro alrededor. Pero la súbita aparición de un reptil volador o de un tiranosaurio, uno de los gigantescos reptiles que han caracterizado a esta era, nos convencería al instante de que lo que en realidad tendríamos ante nosotros era un mundo prehistórico.

La era Mesozoica, llamada también "era de los dinosaurios", comprende un período de tiempo geológico que comenzó hace casi 200 millones de años y tuvo una duración de unos 160 millones de años. Su nombre, *Mesozoica*, que en griego significa "vida media", fue propuesto por vez primera en 1841, sobre la base de unos fósiles encontrados en Gran Bretaña. Posteriormente, la era Mesozoica fue subdividida en tres períodos, de los cuales el más antiguo es el Triásico (que duró casi 35

millones de años), el intermedio es el Jurásico (55 millones de años) y el más reciente el Cretácico (70 millones de años). Toda la era estuvo caracterizada por un clima cálido y húmedo, en el que las estaciones no estaban bien diferenciadas.

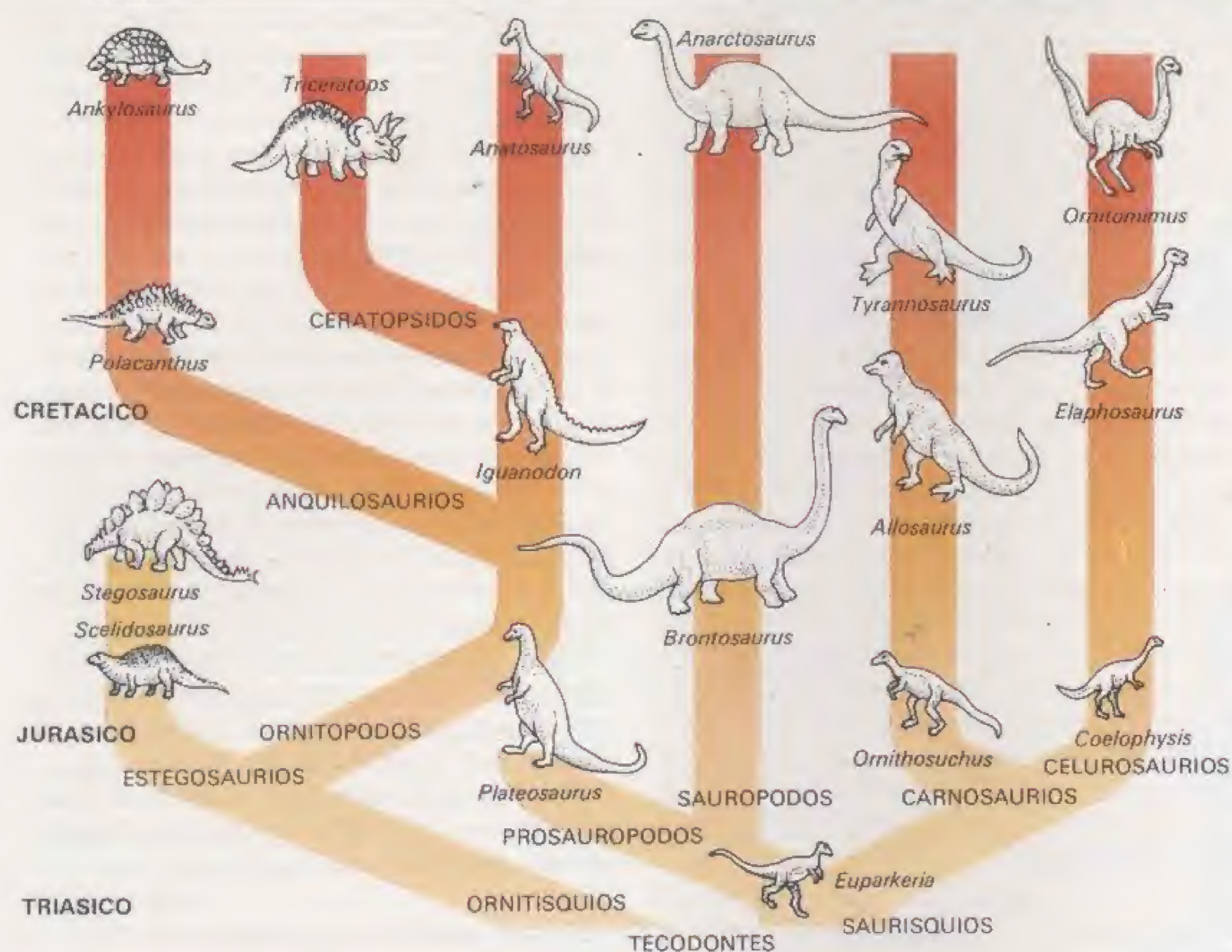
La vida animal En base a los hallazgos fósiles, la era Mesozoica se puede llamar con justicia "la era de los reptiles". En el período Triásico aparecieron los dinosaurios, con la clase de los Saurópodos a la que siguieron los Ornitisquios, exclusivamente herbívoros. Los enormes dinosaurios herbívoros —como, por ejemplo, el *Stegosaurus* acorazado y el brontosaurio, con unas dimensiones similares a las de una ballena— aparecieron por primera vez en el Jurásico, así como el *Archaeopteryx*, un antecesor de las aves que tenía dientes de reptil, plumas en la cabeza y alas con los dedos provistos de garras (los miembros anteriores de los reptiles transformados). El tiranosaurio carnívoro y los reptiles voladores (pterodáctilos) se remontan al Cretácico, así como la más antigua salamandra que se conoce. Las familias de reptiles de la era Mesozoi-

ca que sobreviven en la actualidad incluyen las serpientes, tortugas y cocodrilos. Peces como el esturión y el tiburón e insectos como los grillos y las hormigas tuvieron también su origen en la era Mesozoica. Los primeros mamíferos derivaron probablemente de algún antepasado reptil del Triásico, pero se quedaron en un segundo plano, respecto a las demás especies existentes, hasta el final de la era, cuando los dinosaurios desaparecieron repentinamente. La extinción de los dinosaurios constituye aún hoy uno de los grandes misterios de la evolución animal.

La vida vegetal Las coníferas, plantas de hojas aciculares de la era Mesozoica, se han conservado excepcionalmente como bosques petrificados, mientras que los ginkgo, plantas de hoja ancha, han sobrevivido hasta nuestros días. Seguramente el salto más notable en la evolución de la flora fue la aparición de las angiospermas: las plantas con las semillas encerradas en ovarios y órganos sexuales bien diferenciados.

Mientras el nivel de los océanos se elevaba, muchas plantas quedaban atrapadas





A la izquierda, árbol evolutivo que representa el desarrollo de los grandes reptiles. Al final

del Cretácico, experimentaron una marcada regresión, extinguiéndose numerosos grupos.

sión durante el Cretácico, cuando crearon un espectacular pasillo marino en el centro de Norteamérica, desde el Ártico hasta el Golfo de México.

Durante el Triásico y al comienzo del Jurásico hubo poca actividad volcánica y formadora de montañas, pero hacia el final de la era Mesozoica tuvieron lugar importantes movimientos orogénicos en varias partes del mundo, formándose las cadenas montañosas del oeste de Norte y Centroamérica y los Andes, e iniciándose la formación de otras muchas, como los Alpes y el Himalaya. El último ciclo de desplazamientos continentales comenzó al principio de la era Mesozoica y dio origen a la apertura del océano Índico y del océano Atlántico y al cierre progresivo del primitivo Tethys, del que hoy es resto el mar Mediterráneo.

Véase *Archaeopteryx*; *Brontosaurus*; Cretácico, período; Dinosaurios; Jurásico, período; *Stegosaurus*; Triásico, período

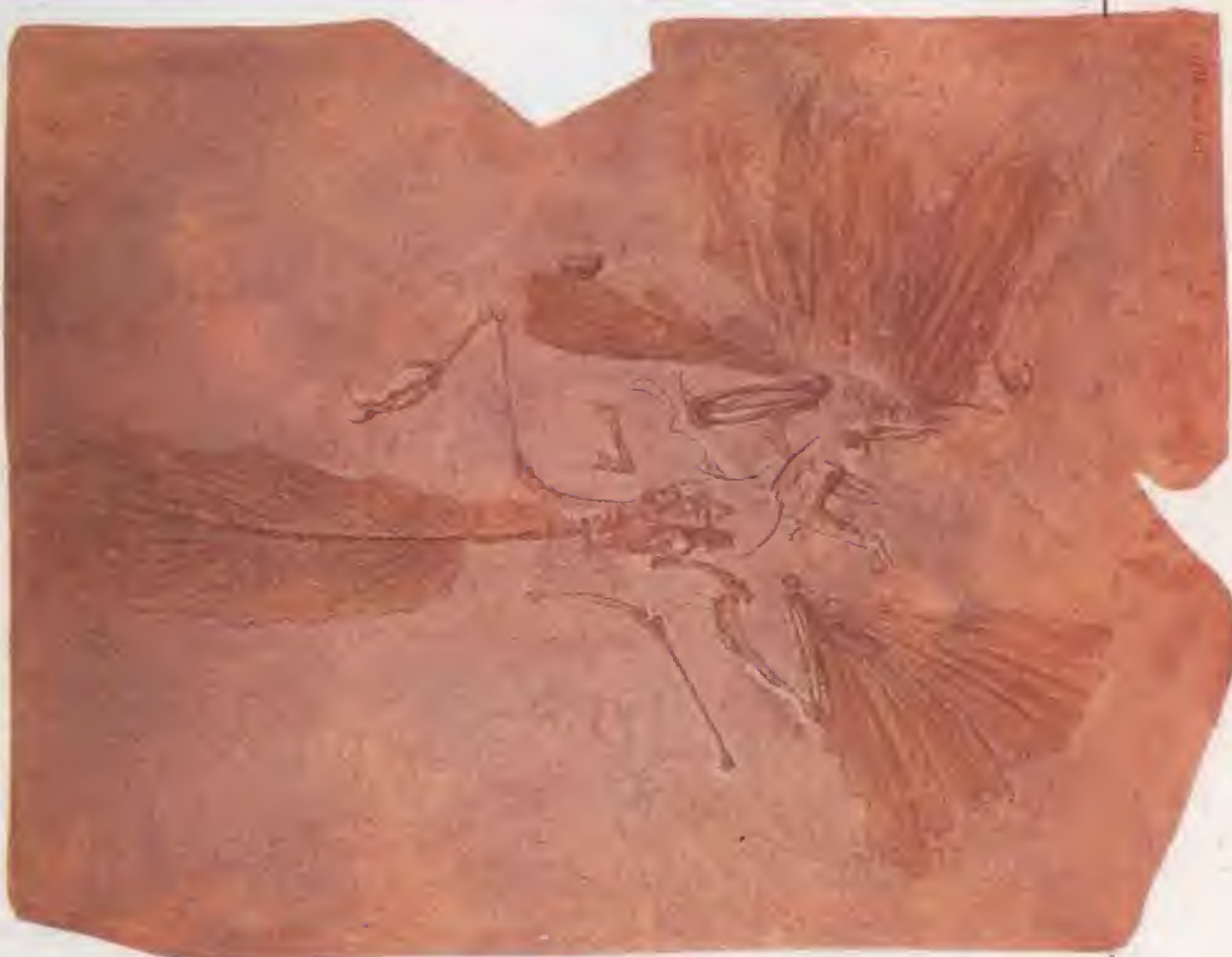
La Mesozoica es la segunda Era en la historia reciente de la Tierra, lo que se ha dado en llamar el Fanerozoico, que comenzó hace unos 570 millones de años. Representa un período de transición tanto en el desarrollo de la corteza terrestre como en la evolución de la vida. El comienzo de la Era está señalado por la conclusión de la gran orogénesis hercínica; el final está caracterizado por el inicio de la formación de los nuevos sistemas montañosos alpinos. También en el desarrollo de la vida la Mesozoica es una etapa de transición: su fauna y su flora presentan formas intermedias entre las de la era Paleozoica y las de la era Cenozoica. En el hemisferio meridional, al menos hasta el final del Triásico, continúa la vegetación pérmica (flora

de *Glossopteris*), pero enriquecida por la presencia del género *Schizoneura*. Al comienzo de la era Mesozoica, las Gimnospermas más comunes eran las *Cycadeoideas*. Las Angiospermas, plantas con las semillas encerradas en ovarios y órganos sexuales bien diferenciados, señalaron el vértice máximo del desarrollo alcanzado por las plantas. En lo que se refiere a la fauna marina, los cefalópodos presentan las características actuales, aparecen los crinoideos, mientras que los ammonites con su concha espiral son los fósiles más abundantes de esta era. Se afirman y se extienden los reptiles gigantes, aparecen los primeros pájaros, y los insectos, con los dípteros, conquistan la tierra firme.

en los sedimentos que se formaban en el fondo de cuencas marinas poco profundas, que con el tiempo se convirtieron en grandes depósitos de carbón y mineral de hierro. Su presencia masiva en las regiones septentrionales, como Canadá, indica que el clima de todo el mundo era más templado y húmedo que el actual; durante la era Mesozoica no existían los casquetes de hielos polares. Las formaciones marinas de caliza y arenisca de esta Era contienen también importantes yacimientos de manganeso y fosforitas, que hoy se extraen para uso industrial.

Paleogeografía Los geólogos piensan que al comienzo de la era Mesozoica existían dos grandes masas continentales: una en el hemisferio boreal, llamada *Laurasia*, y formada por la mayor parte de América del Norte y Asia; y otra en el hemisferio meridional, *Gondwana*, constituida por América del Sur, África y Australia. Estaban separadas por el océano de Tethys, que se extendía desde el mar del Caribe, a través del Mediterráneo y de Oriente Medio, hasta Indonesia y Nueva Zelanda. Aparentemente, los océanos ocupaban extensiones reducidas al comienzo del Triásico, pero gradualmente fueron cubriendo mayores extensiones de tierra firme, avanzando y retirándose durante toda la Era. Alcanzaron su mayor exten-

En la página anterior, reconstrucción de un ambiente referido a la vegetación tal y como debía ser en la era Mesozoica. En el centro, una de las más bonitas y características plantas del Mesozoico, una *Cycadeoidea*, conservada a veces en muy buen estado por los procesos de fosilización. Fue también la "era de los dinosaurios", que alcanzaron su máxima difusión, tanto por la variedad de especies como por el elevado número de ejemplares. Aparecieron en el Triásico, con los Saurópodos, a los que siguieron poco después los Ornitisquios, dinosaurios exclusivamente herbívoros. El clima templado y húmedo, ideal para la mayoría de los organismos, facilitó la vida sobre la Tierra, se difundieron los insectos (aquí abajo, a la derecha, fósil de una libélula) y apareció el *Archaeopteryx* (arriba), antecesor de las aves.



Museo de Historia Natural, Milán



Metabolismo

Todos los seres vivos necesitan la energía para su supervivencia. Una ley fundamental de la Naturaleza dice que la energía no se crea ni se destruye, sino que sólo se transforma. En las plantas verdes, por ejemplo, la energía de los rayos solares es captada por la clorofila, un pigmento verde. Esta energía así asimilada es transformada de energía radiante en energía química, y permite a las plantas producir sustancias nutritivas (los hidratos de carbono o glúcidos) utilizando sustancias químicas elementales (agua y dióxido de carbono) mediante el proceso de la fotosíntesis.

La fotosíntesis, como las distintas formas de metabolismo de los seres vivos, transforma la energía en formas utilizables por un determinado organismo, que posteriormente la consume para realizar las reacciones químicas fundamentales, es decir, esenciales para la vida misma, que tienen lugar en todas las células. Del mismo modo que de la combustión de un pedazo de leña en presencia de oxígeno se libera energía en forma de calor, así los

organismo. La segunda, denominada *anabolismo* o *biosíntesis*, reúne los compuestos químicos elementales, ladrillos o sillares del metabolismo, para formar estructuras bioquímicas esenciales (por ejemplo, las grandes y complejas macromoléculas de las proteínas).

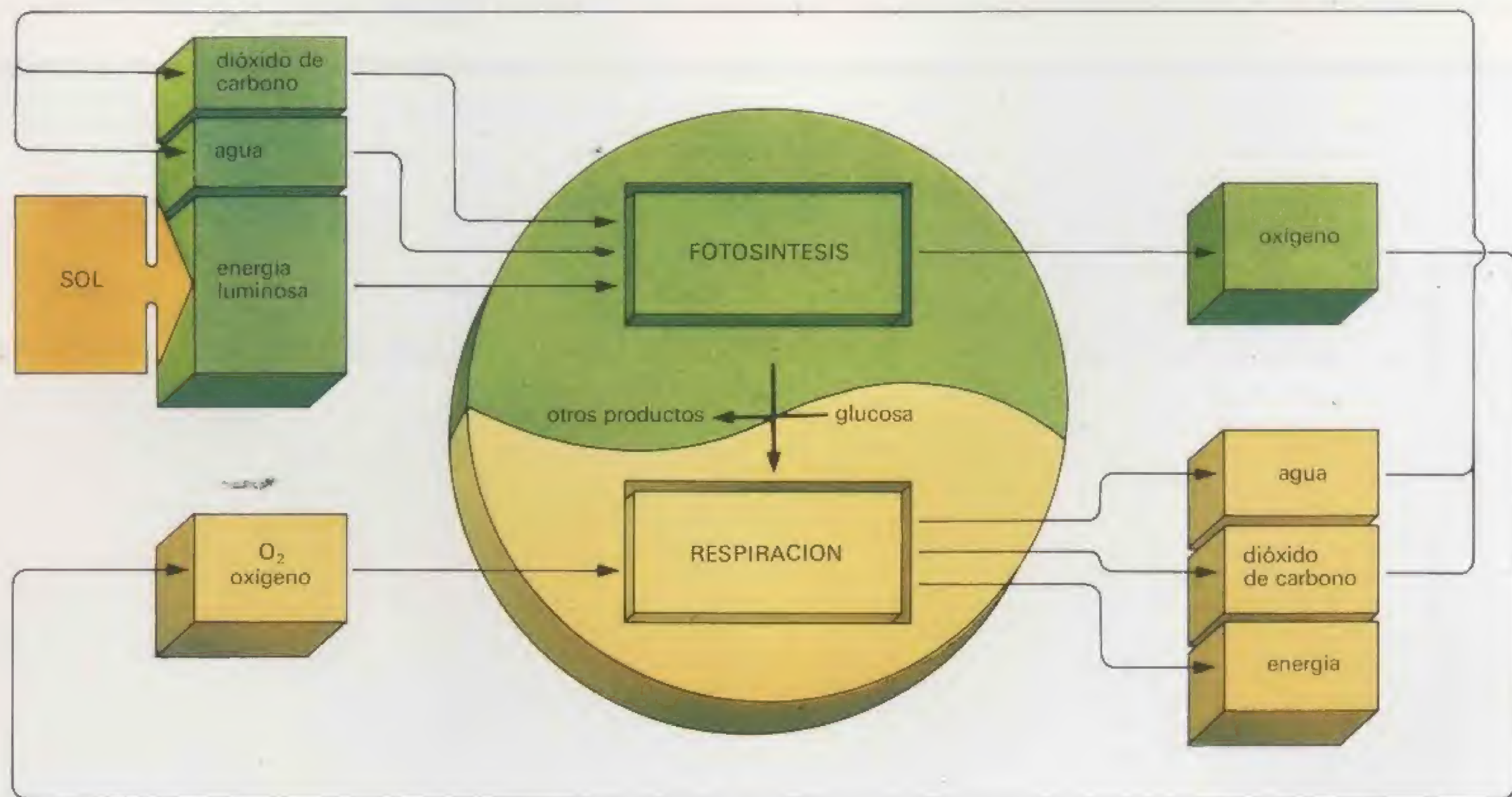
Los procesos químicos del metabolismo desarrollan distintas funciones fundamentales. Proporcionan la energía necesaria para el trabajo, no sólo el trabajo mecánico que implica la utilización de los músculos, sino también el trabajo químico necesario para la construcción de moléculas complejas como el ADN, el ARN o las proteínas. Las reacciones metabólicas, por otro lado, transforman el alimento en sustancias que pueden ser almacenadas hasta el momento de su utilización, produciendo así la síntesis de compuestos con función de reserva energética. En los animales de sangre caliente, las reacciones metabólicas transforman los compuestos ricos en energía en el calor necesario para mantener la temperatura corporal en un nivel constante.

energía, de manera que la molécula con mayor número de uniones de alta energía, el ATP, posee igualmente la mayor cantidad de energía.

El ATP es la sustancia que se forma en los cloroplastos; de esta forma todas las moléculas de ATP derivan directa o indirectamente del Sol.

Cuando uno o dos grupos "fosfato" son escindidos de la molécula de ATP, se libera energía. Por el contrario, cuando uno o dos grupos "fosfato" son ligados a una molécula de AMP, la energía es almacenada en esta unión, y queda en disposición de ser utilizada en otras reacciones. La adición y la sustracción de grupos "fosfato" es parangonable a la acción de un interruptor y es precisamente lo que tiene lugar en los procesos metabólicos.

Durante el catabolismo (la fase de degradación del metabolismo), se extrae la energía de las sustancias orgánicas y se transforma en ATP. Durante el anabolismo (la fase constructiva, de síntesis del metabolismo), el ATP se consume en los procesos de síntesis. Es necesaria la energía



procesos químicos del organismo utilizan oxígeno y otras sustancias para liberar energía a partir de los alimentos. Esta energía metabólica, en lugar de dispersarse en el aire en forma de calor, es utilizada para la construcción de todos los componentes vitales, de los enzimas a los genes.

Procesos fundamentales El metabolismo, ya sea en las mariposas o en los seres humanos, se caracteriza por dos series de reacciones. La primera, un conjunto de procesos llamados colectivamente *catabolismo*, tiene por función la degradación de las sustancias orgánicas proporcionadas por los alimentos y su reducción a compuestos químicos utilizables por el or-

El trifosfato de adenosina La unidad básica del metabolismo es una molécula denominada *trifosfato de adenosina* o *adenosín-trifosfato*, abreviadamente ATP. Esta molécula está formada por dos grupos "fosfato" unidos a un compuesto fácilmente convertible llamado *monofosfato de adenosina* o AMP. La adición o la sustracción de estos grupos "fosfato" son las operaciones a través de las cuales se obtiene la energía. La adición de un grupo "fosfato" a la unidad básica AMP crea una molécula con dos grupos "fosfato", denominada *difosfato de adenosina* o ADP; la adición de otro grupo "fosfato" da lugar al ATP, molécula con tres grupos "fosfato".

Los puntos en los que los grupos "fosfato" se unen son increíblemente ricos en

El metabolismo es el conjunto de los procesos que se desarrolla en las células y en los tejidos vivos y que determina en ellos su formación, su demolición y su funcionamiento. El conjunto de estos procesos tiene lugar a través de innumerables reacciones bioquímicas, integradas entre sí en un sistema apto para mantener un cierto equilibrio entre los organismos vivos y el ambiente. Arriba, representación esquemática de las relaciones entre las

transformaciones en las plantas verdes, en las que se verifica la fotosíntesis, y en los animales, en los que la energía es proporcionada por el metabolismo de la glucosa acoplado a los procesos respiratorios. Las plantas verdes utilizan la energía luminosa procedente del Sol para sintetizar la glucosa a partir de agua y de dióxido de carbono, y liberan oxígeno. Las células animales, por el contrario, utilizan la energía almacenada en la glucosa, que se transforma en agua y

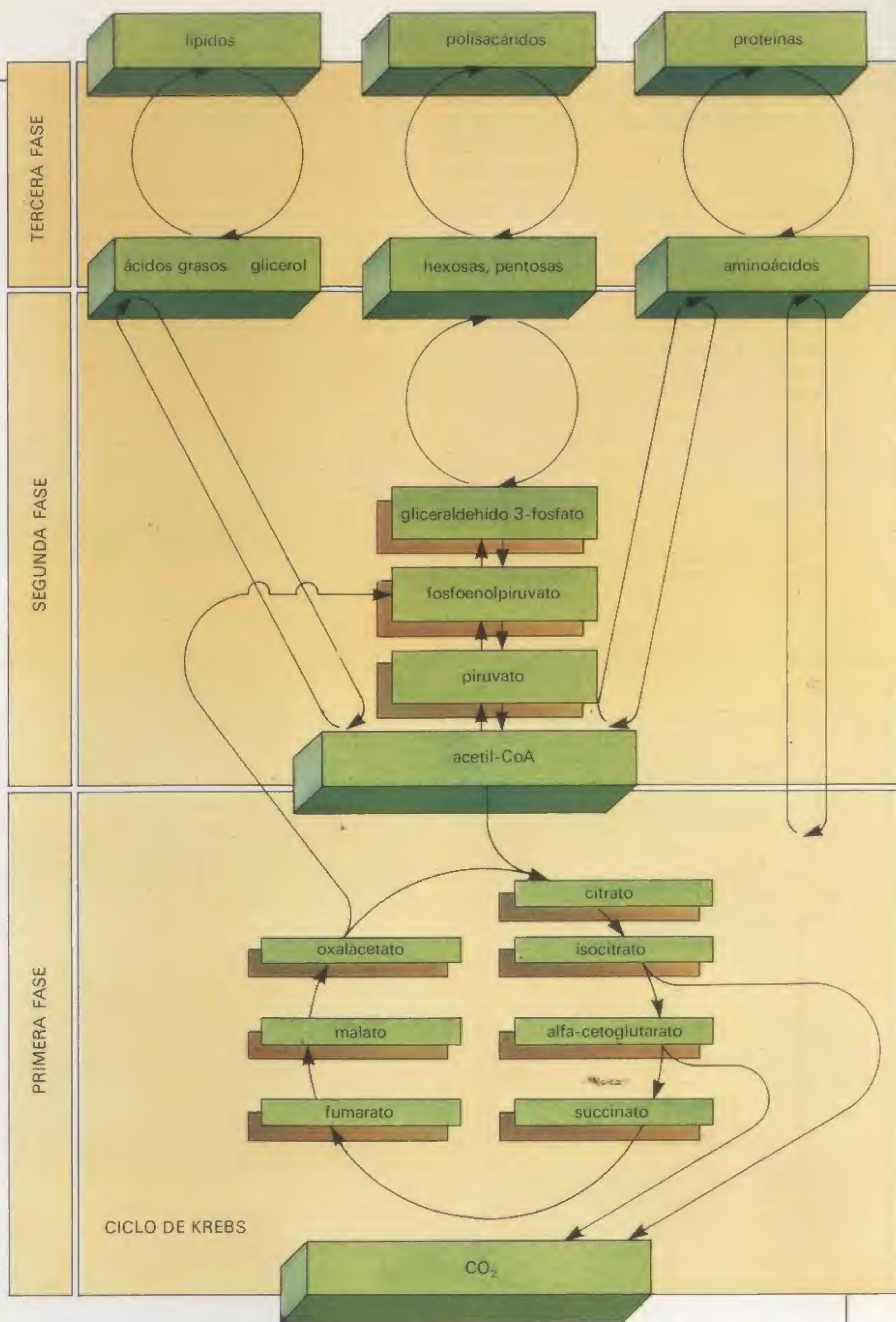
del ATP, por ejemplo, para degradar la estructura de las proteínas en sus componentes esenciales (los aminoácidos), de manera que éstos puedan unirse en pequeñas secuencias (llamadas polipéptidos) o en nuevas secuencias largas (nuevas proteínas) que sean posteriormente utilizadas por el organismo para diferentes finalidades.

De la digestión a la disgregación El alimento del que nos nutrimos proporciona las sustancias necesarias para el metabolismo. Las principales fuentes de nutrientes son los glúcidos, los lípidos y las proteínas. La degradación de los glúcidos y de los lípidos produce el ATP. La de las proteínas proporciona los elementos para la síntesis de las proteínas (solamente la mitad de los 20 aminoácidos necesarios para la síntesis proteica puede ser producida químicamente por el organismo humano a través de los procesos metabólicos; los restantes aminoácidos deben ser ingeridos con la alimentación y reciben, por esta razón, el nombre de *aminoácidos esenciales*).

Con la alimentación deben ingerirse también las vitaminas, compuestos fundamentales para la acción de muchos enzimas. Cada tipo de alimento es degradado a través de una serie específica de reacciones químicas y cada reacción está catalizada o facilitada por un enzima, que actúa sobre los compuestos reactantes para acelerar el proceso. Una serie completa de reacciones químicas que conduce a un producto hacia un destino determinado se denomina *vía metabólica*. Aunque se sale de la finalidad de este artículo la explicación en detalle de todas las vías metabólicas de las distintas sustancias, se intentará la descripción de algunos procesos particulares, su localización celular y su significado fisiológico.

El metabolismo comienza en el estómago y en el intestino. Al comer, por ejemplo, una patata, recibimos un aprovisionamiento de almidón. El almidón es un azúcar complejo, excesivamente complejo para pasar como tal a las distintas vías metabólicas. Por esta razón, en el propio intestino los enzimas digestivos atacan esa gran molécula y la reducen a azúcares más sencillos, como la glucosa. La molécula de glucosa es lo suficientemente pequeña como para pasar a través de la pared intestinal y penetrar en la circulación sanguínea. La sangre transporta este azúcar al hígado y a otros tejidos; por ejemplo, al tejido muscular.

Glucolisis En el interior de las células musculares —específicamente en las mitocondrias, las minúsculas centrales eléctricas de las células animales— tiene lugar una de las más importantes vías metabólicas, la glucolisis. La glucolisis está constituida por una larga serie de reacciones químicas que transforma cada molécula de glucosa en dos moléculas de ATP. Este proceso es particularmente importante en los músculos (aunque tenga lu-



gar también en el resto de los tejidos), dado que el ATP es consumido cada vez que se efectúa una contracción de las fibras musculares y se trata de una molécula que debe ser reemplazada rápidamente tras su consumo.

El mecanismo de la glucolisis es, de forma abreviada y simplificada, el siguiente: la molécula de glucosa se transforma en fructosa, que también es un azúcar, al mismo tiempo, dos grupos "fosfato" se unen a cada extremidad de la molécula de fructosa. Este proceso, denominado *fosforilación*, es muy costoso en términos energéticos, puesto que requiere el consumo de dos moléculas de ATP por cada molécula de glucosa. Sin embargo, la nueva molécula de azúcar fosforilado, con estructura

en dióxido de carbono con consumo de oxígeno. La degradación enzimática de las sustancias nutritivas proporciona a las células vivas los materiales de partida para la síntesis de sus propias estructuras y la energía necesaria para sus funciones. El catabolismo de los lípidos, polisacáridos y proteínas tiene lugar a través de una cadena de reacciones bioquímicas clasificables en tres fases (arriba). En la primera fase las grandes

moléculas son reducidas a sus constituyentes elementales. En la segunda fase, el glicerol, ácidos grasos, glucosa y aminoácidos son degradados, con liberación de energía, a un compuesto de tres átomos de carbono, el acetilcoenzima A, que constituye el punto de paso obligado de los tres catabolismos hacia la tercera y última fase, en la cual se llega, con ulterior liberación de energía, a la formación de dióxido de carbono y agua.

simétrica, puede ser químicamente dividida en dos moléculas distintas por acción de un enzima (proceso llamado *escisión*).

Cada una de estas moléculas de dimensiones más pequeñas, denominadas *triosafato*, cede una molécula de ATP durante una reacción sucesiva con un *coenzima* (sustancia que actúa en unión con un enzima). Después de varias reacciones sucesivas, se obtienen dos moléculas de ATP y ácido pirúvico como productos finales. El beneficio neto de la degradación de una molécula de glucosa a ácido pirúvico es de dos moléculas de ATP.

Las moléculas de ATP se almacenan en las mitocondrias hasta el momento en que son utilizadas. El ácido pirúvico puede ser ulteriormente degradado para proporcionar mayores cantidades de energía.

Ciclo de los ácidos tricarboxílicos El ATP obtenido de la glucólisis puede ser utilizado en reacciones que consumen energía en otras zonas de la célula. El áci-

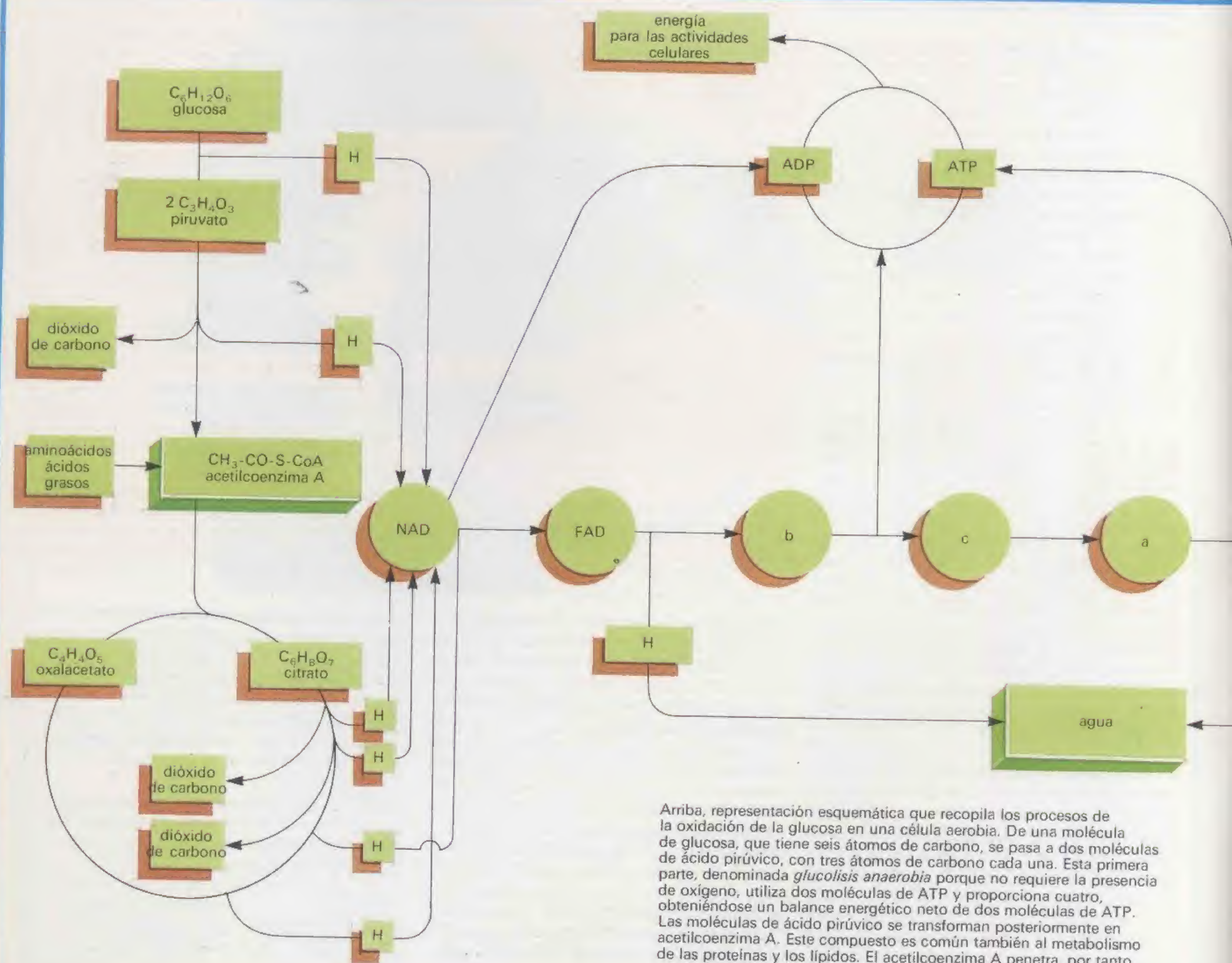
do pirúvico, a su vez, puede continuar ulteriormente su proceso metabólico en las mitocondrias, transformándose en un coenzima llamado *acetilcoenzima A*. Este compuesto es el punto de partida de una vía metabólica cíclica, denominada *ciclo de los ácidos tricarboxílicos* (TCA) o *ciclo de Krebs*, que recibe este nombre por seguir un recorrido circular. Se inicia este ciclo con el ácido oxalacético que se combina con el acetilcoenzima A para formar el ácido cítrico, y termina, tras una serie de reacciones, volviendo a producir ácido oxalacético.

Los compuestos producidos a lo largo de este ciclo (compuestos intermediarios) pueden salir del mismo para introducirse en otros procesos metabólicos. Durante las distintas fases, se liberan moléculas de hidrógeno que son transportadas a otra vía metabólica para producir más cantidad de ATP.

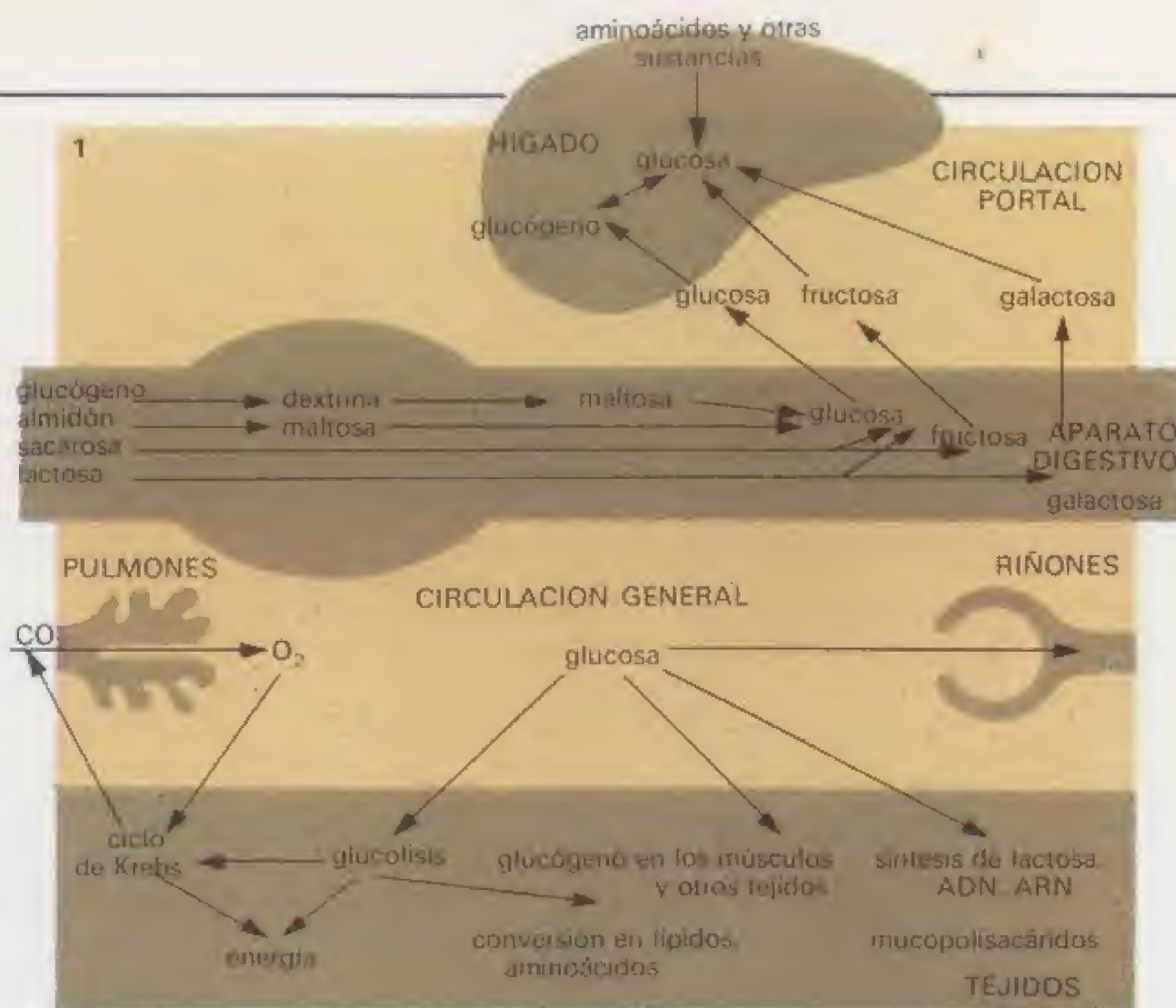
Por cada molécula de glucosa degradada hasta la producción final de dióxido

de carbono (CO_2) y agua (H_2O), se forman 38 moléculas de ATP. Aparte de los glúcidos, como la glucosa, también otros compuestos, como los ácidos grasos, pueden ser reducidos al acetilcoenzima A produciendo tanto ATP como compuestos que se introducen posteriormente en el ciclo de Krebs. De este modo, cuando el organismo necesita energía utiliza las grasas almacenadas, que penetran como ácidos grasos en el ciclo de Krebs para producir ATP.

Ciclo de la urea La degradación de las proteínas, moléculas que contienen nitrógeno, da lugar a la producción de amoníaco (NH_3) como subproducto tóxico. Dado que el amoníaco es letal para las células, es necesario un camino metabólico —llamado *ciclo de la urea*, que se verifica en las células del hígado— para transformar esta sustancia tóxica en un producto de desecho no tóxico. El amoníaco se combina con el dióxido de carbono y el

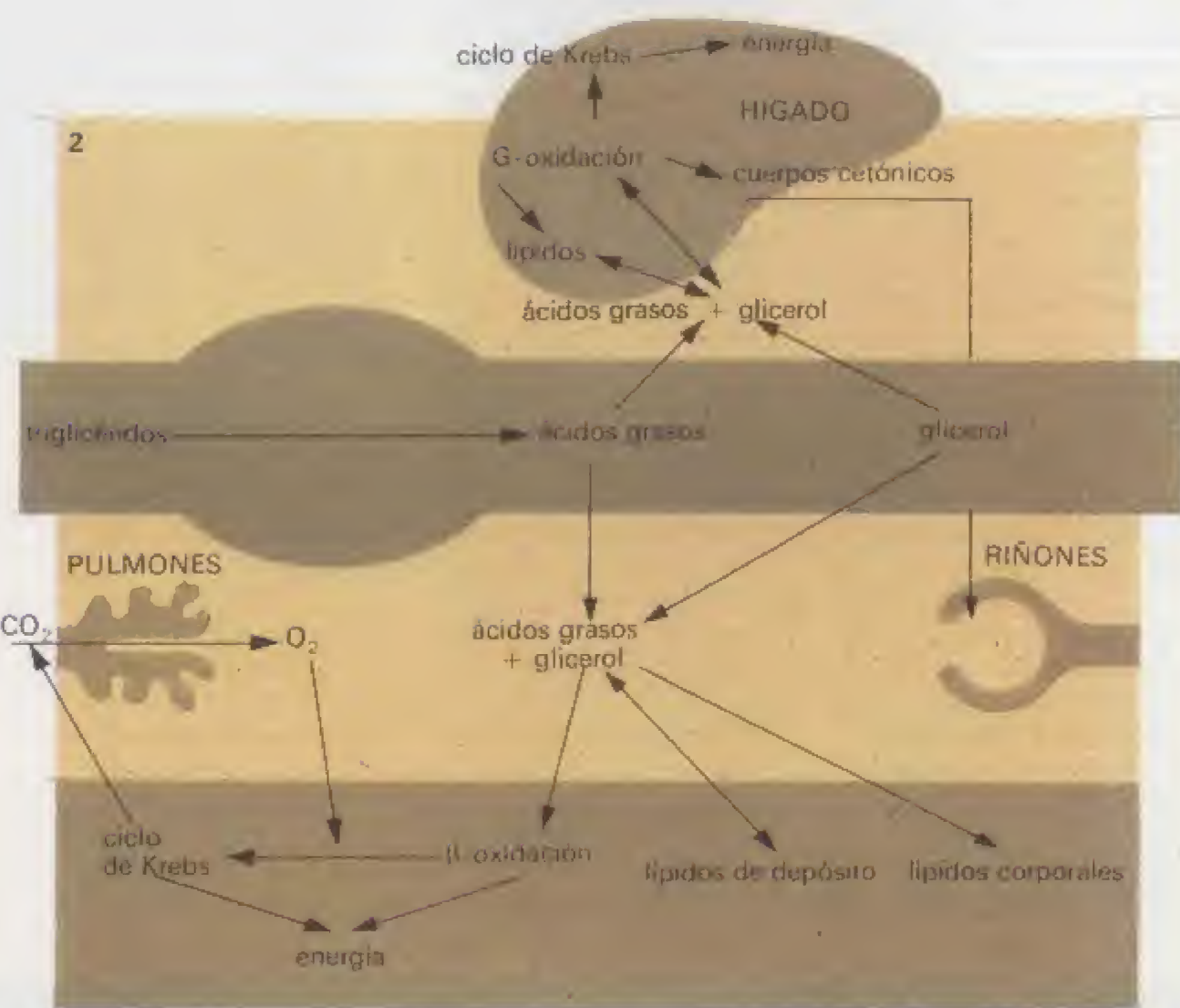


Metabolismo de los glúcidos (1), de los lípidos (2) y de las proteínas (3) en el hombre. Los glúcidos —ingeridos con los alimentos de origen vegetal y con la leche, bajo forma de glucógeno, almidón, sacarosa y lactosa— son escindidos en azúcares más simples, como la glucosa, fructosa y galactosa, y transportados al hígado por vía sanguínea. En este órgano tiene lugar la transformación de fructosa y galactosa en glucosa, que constituye el punto de partida para las vías de utilización metabólica de los glúcidos. La glucosa es más tarde oxidada en los



distintos tejidos para proporcionar energía, o bien utilizada para la síntesis de otros compuestos o polimerizada en forma de glucógeno en el hígado como material de reserva. Los lípidos —ingeridos como triglicéridos o grasas neutras y complejas— son degradados a glicerol y ácidos grasos, y atraviesan la pared intestinal con el auxilio de las sales biliares producidas por el hígado. Por vías linfática y sanguínea alcanzan el hígado, el cual los escinde y los distribuye. Los productos del metabolismo lipídico pueden ser utilizados tanto para producir energía a través de

las reacciones del ciclo de Krebs como para la síntesis de lípidos de depósito o de constituyentes corporales. Son un material energético de reserva. Las proteínas son degradadas en el tracto gastrointestinal a aminoácidos, que pasan luego a la sangre y llegan al hígado, de donde pueden encaminarse hacia procesos de síntesis, con formación de nuevas proteínas, o bien a procesos de degradación a cetoácidos (que pueden ser utilizados para la síntesis de glucosa y de ácidos grasos), y a amoníaco, que, después de su transformación en urea, es excretado.



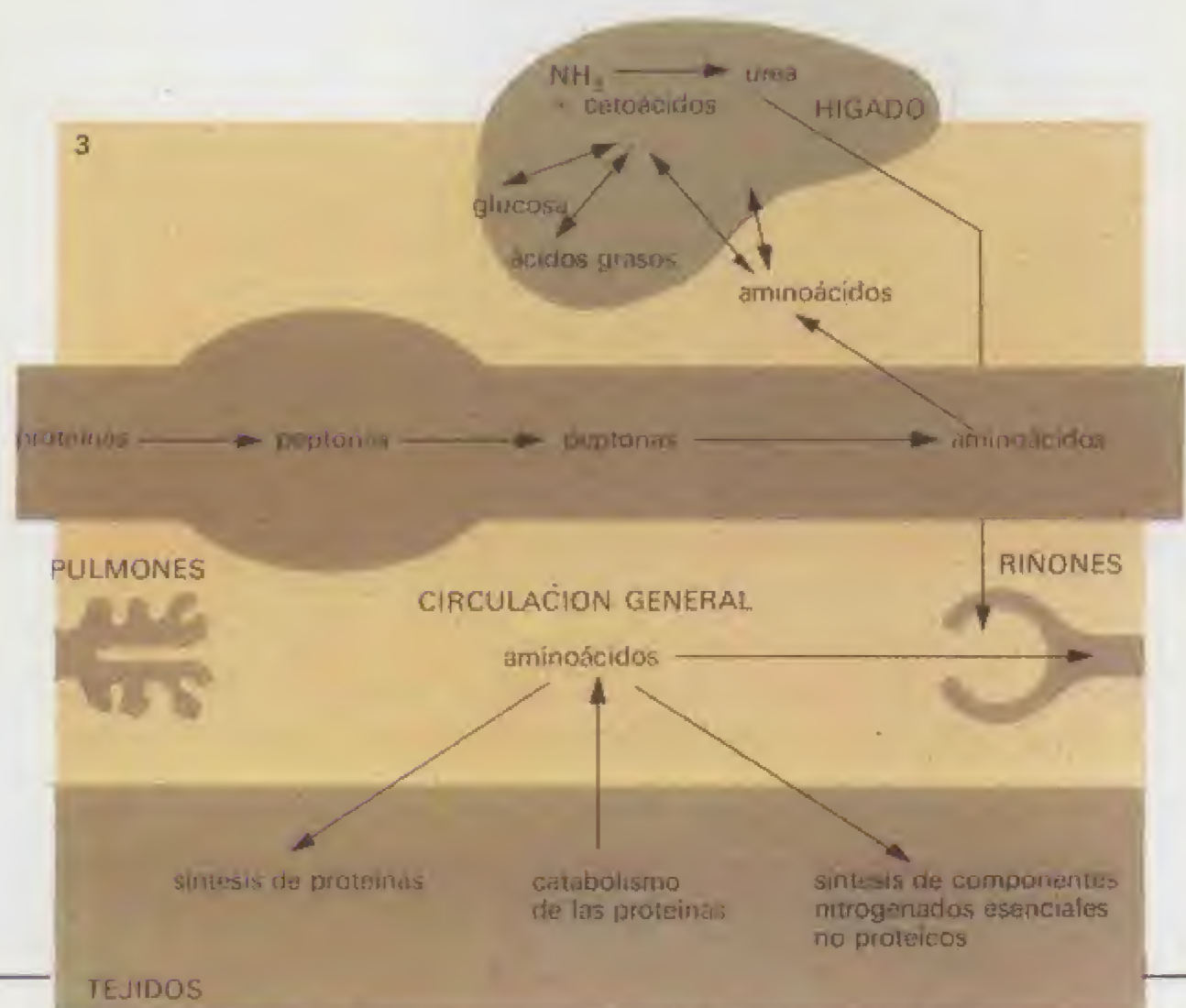
ATP para formar un compuesto químico intermedio, que a su vez se combina enzimáticamente con el aminoácido ornitina para formar otro compuesto, llamado *citru- lina*. Después de varios pasos metabólicos se obtiene el compuesto arginina, que es disgregado en dos sustancias: la urea, que puede ser eliminada del organismo (sin dañarlo) como producto de desecho, y la ornitina, que puede reintroducirse en el ciclo para mantenerlo en funcionamiento.

Estas reacciones, como muchos otros procesos metabólicos, reciclan compuestos que sirven para mantener el ciclo en funcionamiento.

El tráfico metabólico Las distintas vías metabólicas del organismo podrían ser comparadas a grandes avenidas. Si bien constituyen un sistema veloz para el viaje químico, un compuesto concreto puede entrar y salir en las variadas fases de los procesos metabólicos, y, a su vez, los distintos procesos metabólicos se interconectan en los puntos clave. Eso significa que una sustancia de conexión (similar a una intersección de autopistas) como el ácido pirúvico, que representa un paso de la demolición de la glucosa, constituye también el punto de partida para procesos de biosíntesis.

A través de estas intersecciones, el organismo canaliza continuamente el tráfico químico en varias vías, de modo que consigue el máximo rendimiento de los procesos metabólicos. Nada más recibir los dos ingredientes básicos, energía y sustancias nutritivas, el organismo puede fabricar cualquier cosa: un niño de un huevo fecundado, un adulto de un niño.

Estos milagros del crecimiento son, efectivamente, los ejemplos más significativos del metabolismo humano.



Véase **Aminoácidos; Fotosíntesis; Glúcidos; Lípidos; Proteínas**

Metales

Los metales son tan importantes, que se han utilizado para definir algunos periodos históricos (según fueran utilizados en ellos predominantemente unos u otros). Así, se habla de la Edad del Bronce, la Edad del Hierro, etcétera.

Los metales puros tienen determinadas características físicas: son generalmente brillantes y, en la mayoría de los casos, dúctiles (pueden ser transformados en hilos) o maleables (pueden transformarse en finas láminas), como el oro o el estaño. Con frecuencia estas dos propiedades van unidas. Por otro lado, los metales en general son buenos conductores del calor y la electricidad. Pero, a pesar de estas características típicas, no es fácil establecer la línea de separación precisa entre los metales y los no metales, ya que algunos elementos presentan propiedades tanto metálicas como no metálicas.

Los químicos definen los *metales* como aquellos elementos —tipo sodio, hierro, estaño y plata— que tienen tendencia a formar iones positivos. Esto significa que, en las sustancias que contienen metales, los átomos metálicos en general tienen carga positiva, mientras que los no metálicos tienen carga negativa. En el cloruro de sodio (NaCl), por ejemplo, o sea, en la sal de cocina, los átomos de cloro toman una carga negativa mientras el sodio, que es un metal, se carga positivamente (debido a la transferencia de un electrón del sodio al cloro).

Según esa clasificación química, cerca del 75% de los elementos conocidos son metales. Ahora bien, hay muchos elementos que están químicamente en un término medio: es decir, tienen características tanto de metales como de no metales. El arsénico, el silicio y el antimonio son ejemplos de *semimetales*, que hasta hace no demasiado tiempo eran también denominados *metaloides*.

Abundancia de metales sobre la Tierra

El núcleo interno de la Tierra está constituido en su mayor parte por hierro. Considerando esto, y que el hierro se encuentra además en otras partes de la Tierra, dicho metal es el más común en nuestro planeta. La corteza terrestre, que tiene una profundidad que va desde 5 a 32 kilómetros, está formada por todos los metales conocidos. En orden de abundancia encontramos aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio.

Minerales Los metales se encuentran en sustancias naturales llamadas *minerales*. Estos contienen compuestos metálicos, siendo el porcentaje de metal contenido en ellos muy variable.

Hay metales que se encuentran también en estado natural, esto es, puros o nativos en la Naturaleza, y son el oro, la plata, el cobre, el mercurio, el bismuto, el arsénico y el antimonio. En los compuestos llamados *óxidos*, los metales están combinados con el oxígeno. Óxidos típicos son los procedentes del hierro, del aluminio, del manganeso, del estaño y del cromo.



Dar una definición de los metales desde el punto de vista químico es complejo: se puede decir que los metales son aquellos elementos que tienen tendencia a ceder electrones, a combinarse con el oxígeno para así formar óxidos. Los metales suelen tener una serie de características como, por ejemplo, dureza, resistencia, brillo, etc. En las fotografías sobre estas líneas, a la izquierda, un trozo de hierro, metal por excelencia, recubierto de una capa de herrumbre que da testimonio de su combinación superficial con el oxígeno; a su derecha, sodio. A la derecha de estas líneas se observa una de las consecuencias de la oxidación de los

metales: la placa de la figura es un pedazo de aluminio, mientras que la esferilla del centro es estaño fundido. En este caso, el estaño debería adherirse estrechamente a la superficie de aluminio, ya que por lo general los metales son "bañados" con una cierta facilidad por otros metales en estado fundido. En realidad, la superficie del aluminio está recubierta por una ligera capa de óxido, por lo cual el estaño puro no logra adherirse y se aglutina en esferas brillantes. La capa de oxidación presente en la superficie se hace patente precisamente por la presencia de herrumbre, como en el caso del hierro, o por la formación de una especie de barniz de distinto color según el



metal considerado. Hay que tener presente que no siempre la alteración rápida de la superficie de un metal se debe a la oxidación. Un ejemplo ilustrativo es el ennegrecimiento típico de la superficie de la plata expuesta al aire. En este caso la transformación superficial es debida a la acción de un gas, el sulfuro de hidrógeno,

que está siempre presente en la atmósfera en cantidades más o menos abundantes. En las fotos superiores de la página siguiente se ilustra una de las propiedades más útiles de los metales: la plasticidad, que permite a los metales deformarse sin llegar a fracturarse. En la fotografía de arriba,

Los *sulfuros* son compuestos en los que los metales están combinados con el azufre, siendo importantes los de mercurio, plomo, cinc, plata, níquel, cobalto, arsénico, antimonio y mercurio. También están los sulfuros de hierro, pero estos minerales se utilizan más para extraer azufre que para extraer hierro.

Los *carbonatos* son compuestos que contienen carbono y oxígeno; así, por ejemplo, el carbonato de sodio tiene de fórmula Na_2CO_3 . Metales que suelen encontrarse formando carbonatos son: el plomo, el cinc, el hierro, el cobre, el calcio, el estroncio, el bario y el magnesio.

Los *cloruros* son sustancias que contienen un metal y un ión cloruro. El sodio, el potasio, el magnesio, el calcio y la plata son metales extraídos de sus cloruros respectivos.

Los *sulfatos* son compuestos que contienen un metal, azufre y oxígeno: el sulfato de sodio, por ejemplo, tiene fórmula Na_2SO_4 . El calcio, el estroncio, el bario y el plomo son metales que pueden encontrarse en forma de sulfatos.

Los metales son extraídos de los minerales mediante procesos metalúrgicos, en los que, en general, una primera fase del proceso consiste en concentrar los minerales metalíferos contenidos en una gran cantidad de rocas. Posteriormente los compuestos son tratados químicamente, y a veces calentados, para poder separar los metales. En la fase final los metales se someten a procesos de refinado.

Aleaciones Raramente los metales son utilizados en su estado puro. Los metales tal como se emplean están casi siempre aleados, en forma de mezclas de distintos metales, o mezclas de metales y no metales (como el carbono). El bronce, por ejemplo, es una aleación de cobre y estaño. Las joyas de oro no están hechas de oro puro, sino de mezclas de oro con otros metales, normalmente cobre. En general, una aleación no es un compuesto químico, sino una mezcla sólida y uniforme de metales. Es decir, cuando dos o más metales en una aleación cristalizan, los átomos se disponen muy juntos, alternándose



un trozo de plomo, metal que posee una elevada plasticidad: la forma original del modelo era la de un cubo, que ha sido deformado a martillazos sin llegar a fracturarse. En la fotografía pequeña vemos un pedazo de cobre, metal que a temperatura ambiente es más duro que el plomo y que por tanto



requiere mayor esfuerzo para ser deformado. Es necesario modificar las condiciones ambientales, como por ejemplo la temperatura, para que aumente su plasticidad. Ello demuestra que aumentando la temperatura aumenta también la deformabilidad

y la plasticidad de los metales. La serie de tres fotografías bajo estas líneas muestra otra importantísima característica de los metales: la conductividad térmica. Esta propiedad se atribuye a la posibilidad que tienen los electrones de valencia de los metales de moverse libremente a través del retículo cristalino. Además de la conductividad térmica y eléctrica, la movilidad característica de los electrones de valencia en los metales les confiere otras propiedades, tales como la luminiscencia y la opacidad. El

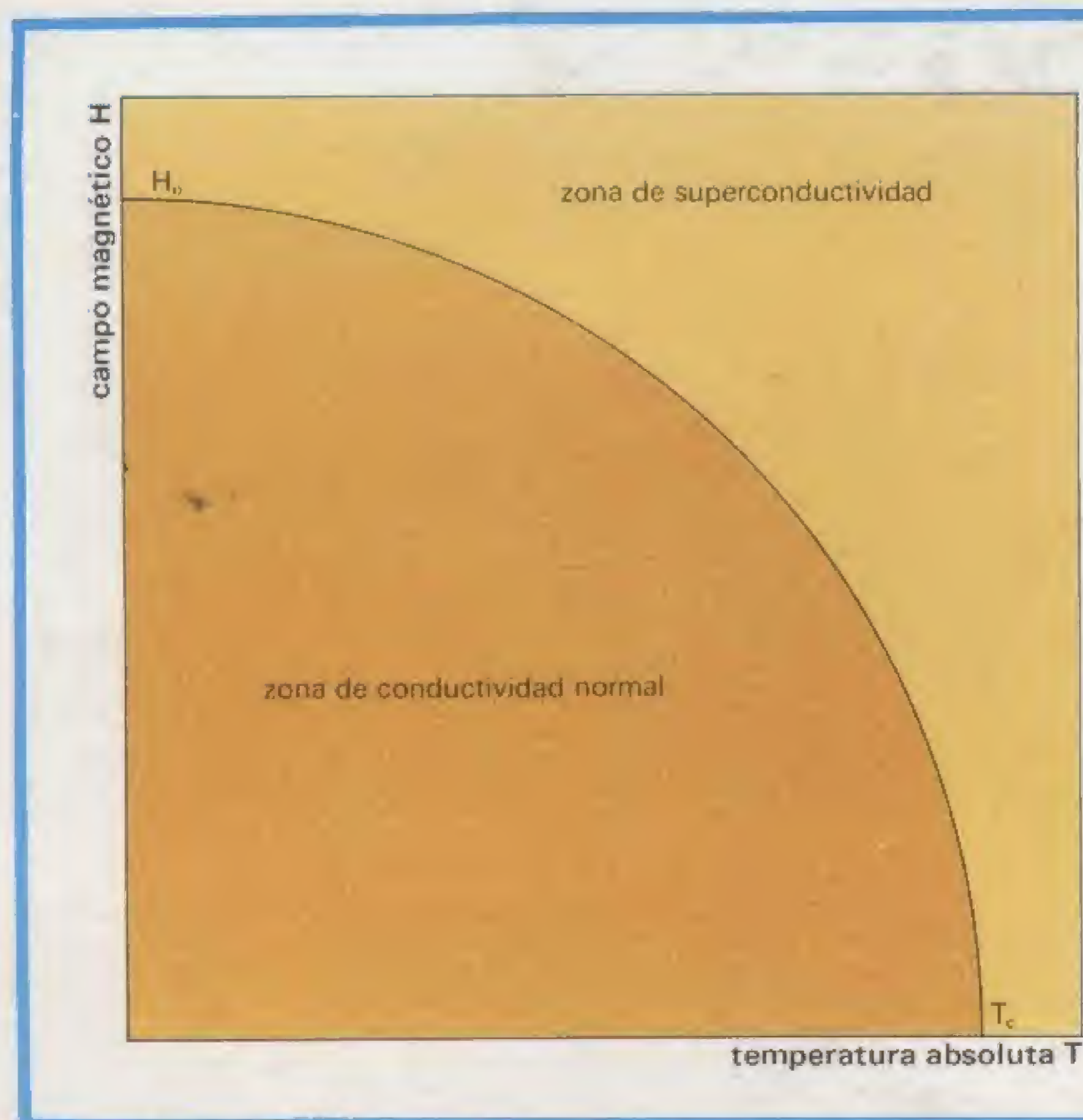
ejemplo de aquí se refiere a un método simple, pero preciso, para observar la conductividad térmica de los metales. Se sumergen en agua hirviendo algunas varillas de materiales metálicos y otras de materiales no metálicos de igual sección y recubiertas de parafina. Debido a la diferencia de conductividad existente entre ellas, la parafina aparece fundida a lo largo de distancias diversas del punto de inmersión. De hecho, se aprecia que mientras a lo largo de las varillas metálicas la parafina se funde a distancias relativamente alejadas del punto de inmersión

(en los dos baños de la derecha), sobre las varillas de material no metálico la parafina se disuelve en zonas próximas a dicho punto. Eso significa que en las varillas metálicas el calor se ha transmitido a lo largo de toda la varilla, permitiendo a la parafina disolverse hasta cierta distancia relativa del punto de inmersión, mientras que en las de materiales no metálicos el calor no ha sido transmitido y la parafina sólo se ha disuelto en aquellas zonas en donde el agua caliente tocaba la varilla. Naturalmente el fenómeno de la conductividad térmica es verificable por

medio de métodos más simples: por ejemplo, si cogemos un martillo con la cabeza de hierro y el mango de madera y apoyamos la mano sobre la cabeza de metal, se percibe una sensación de frío, mientras que apoyándola sobre el mango de madera se percibe una sensación de mayor calor. Esto se explica porque la madera conduce mal el calor, y por tanto el calor de la mano permanece en el punto en el que asimos el mango. Por el contrario, cuando apoyamos la mano sobre la parte de metal, el calor de la mano se dispersa en éste, generándose la sensación de frío.

CONDUCTIVIDAD DE ALGUNOS METALES A 0 °C	
Metales	Conductividad (Siemens/metro)
plata	66×10^6
cobre	$64,5 \times 10^6$
oro	49×10^6
aluminio	40×10^6
magnesio	$25,4 \times 10^6$
sodio	$23,4 \times 10^6$
tungsteno	$20,4 \times 10^6$
potasio	16×10^6
litio	$11,8 \times 10^6$
hierro	$11,5 \times 10^6$
cesio	$5,2 \times 10^6$





Una de las características de los metales que ha venido siendo objeto de numerosos estudios a lo largo de los últimos años es la superconductividad. Se trata de la propiedad que presentan algunos metales de que a temperaturas muy bajas la resistividad eléctrica y la permeabilidad magnética se hacen prácticamente nulas. El diagrama de estado de un metal capaz de hacerse superconductor pone de manifiesto esta cualidad: por debajo de una temperatura crítica T_c , y para un campo magnético inferior al valor de H_0 , se presenta una zona de superconductividad, según una curva de tipo parabólico.

En las cuatro fotografías de la página siguiente se observan algunos trabajos sobre el aluminio. En las tres primeras fotos se recoge una operación de transformado en la que la superficie y forma del aluminio son prácticamente iguales a la forma final. Esto asegura una adecuada distribución del metal y por tanto un completo rellenado del troquel durante la impresión. En la foto grande aparece un gran mazo para impresión en caliente.

se los unos y los otros. La tecnología moderna ha permitido la fabricación de centenares de aleaciones metálicas adecuadas a los usos más variados, en particular al campo de la aeronáutica y de la metalurgia de vanguardia.

Utilización de las aleaciones La razón más importante para la utilización de los metales en forma de aleaciones suele ser la de aumentar su resistencia mecánica, su dureza y la resistencia a la corrosión.

El *bronce* —combinación de cobre y estaño— ha sido la primera aleación importante usada por el hombre. Ya desde muy antiguo se descubrió que una espada de bronce era menos frágil que una de cobre, y la de estaño sería tan endeble que resultaría completamente inútil, pero fabricada con ambos metales se lograba una aleación capaz de mantener su borde bien afilado. Además, el bronce es más fácil de fundir que el cobre.

La aleación más útil para el hombre es sin duda el *acero*, compuesta de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos. Es usual la presencia en los aceros de pequeñas cantidades de elementos diversos que les confieren propiedades particulares, de manera que se pue-

Las extraordinarias cualidades del hierro, el metal ciertamente más representativo, quedan bien ilustradas en el gran puente que atraviesa la bahía de San Francisco (EE.UU.), el Golden Gate.





de elegir un elemento u otro según las características que se deseen. Durante siglos se intentó fabricar un acero que no se oxidara. Finalmente se descubrió que una aleación de acero que contuviera cromo y un poco de níquel era inoxidable. Al mismo tiempo, la adición de cromo proporciona al acero mayor dureza. La adición de manganeso lo hace más tenaz. Cuanto más duro es un acero, tanto más fácil resulta trabajar con él una gran variedad de metales y otras sustancias más blandas, ya que un acero resistente puede ser golpeado sin partirse. Los cuchillos se suelen fabricar con un acero duro, mientras que es necesario un acero resistente, por ejemplo, para las ruedas de los trenes. La industria aeronáutica demanda gran cantidad de materiales ligeros para las estructuras que sustentan los aviones, así como para los motores, los asientos, etc. Las aleaciones ligeras tienen también uno de sus más importantes mercados en la tecnología espacial.

El magnesio es uno de los metales más ligeros, pero es muy poco resistente. La forma de aumentar su resistencia para que pueda ser utilizado en los aeroplanos es precisamente unirlo en aleación con el cobre y el cinc.

Las aleaciones de mercurio se denominan *amalgamas*, y en general se presentan en estado pastoso o líquido. Son utilizadas, por ejemplo, en odontología para rellenar los huecos de las piezas dentarias cuando se empastan.

Véase Acero; Aleación; Metales, detector de; Metales alcalinotérreos; Metales nobles; Metalurgia; Organometálicos, compuestos



Metales, detector de

Los metales tienen una propiedad importante, no compartida con otros elementos de la Naturaleza, que posibilita su rápida localización por medio de determinados aparatos que son sensibles a ella. Esa propiedad es su alta conductividad eléctrica. Si se genera un campo magnético alterno en la proximidad de un objeto metálico, se inducen en éste corrientes eléctricas que, a su vez, originan alrededor del objeto otro campo magnético que distorsiona el campo original; detectando esta distorsión se puede localizar el objeto metálico.

El problema de este tipo de equipos y de otros que funcionan según el mismo principio de inducción magnética es que, cuando se utilizan sobre el suelo, las variaciones en la conductividad que éste presenta sólo son útiles para pequeñas distancias, no más de 15 ó 20 centímetros.

Unidad por búsqueda de campos magnéticos. Son sistemas de bobinas equilibradas para conseguir un objetivo específico. Consiste en una espiral que orienta un campo magnético sobre una vasta área: esta máquina examina las variaciones del flujo magnético de dicha área.

Utilizadas en la exploración de yacimientos arqueológicos, estas unidades pueden determinar la extensión, la forma y la disposición de restos de ruinas sepultadas debajo de la superficie del terreno.

Unidad de magnetización por impulsos. Son un tipo de unidad radar en cuanto que son sistemas que se basan en la transmisión y la consecuente recepción de un impulso magnético después de la reflexión o eco. Un fuerte impulso magnético es enviado desde la bobina de búsqueda en la fase de transmisión; la bobina se va inmediatamente a la fase de recepción, y si el



Tipos de detectores Los detectores de metales tienen entre sí grandes diferencias en cuanto a precio y calidad se refiere. Básicamente están constituidos por una envoltura con un mango que contiene la parte electrónica y un brazo terminado en una cabeza sensible, o bobina, la cual, rastreando el terreno, envía una señal acústica a unos auriculares o una señal visible sobre una pantalla.

Normalmente los detectores que emplean el principio del magnetismo no inducido son de tres tipos.

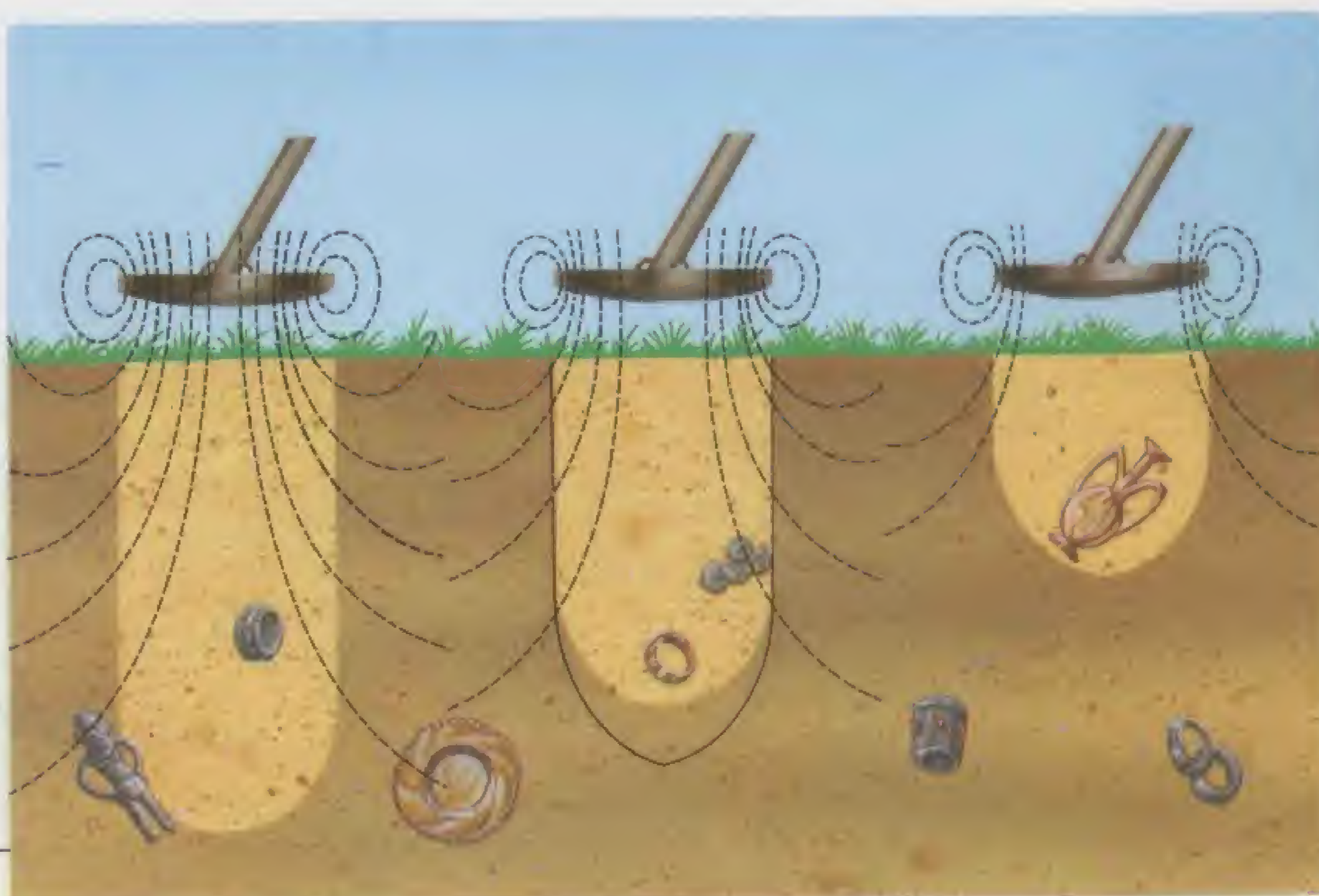
De bobina buscadora equilibrada. Consiste en dos bobinas equilibradas que producen campos magnéticos de igual intensidad. Las bobinas están unidas de forma opuesta, de manera que los campos magnéticos producidos se anulan entre sí. El detector, explorando el campo magnético, leerá como consecuencia "cero", es decir, habrá una ausencia de señal. Cuando una de las bobinas encuentra próximo un objeto metálico que produce una carga eléctrica, ésta distorsiona el campo magnético generado desde dicha bobina y el equilibrado se altera. Se produce entonces una señal neta (diferencia entre las señales de las dos bobinas) que, amplificada y registrada sobre una pantalla, indica la presencia del objeto metálico.

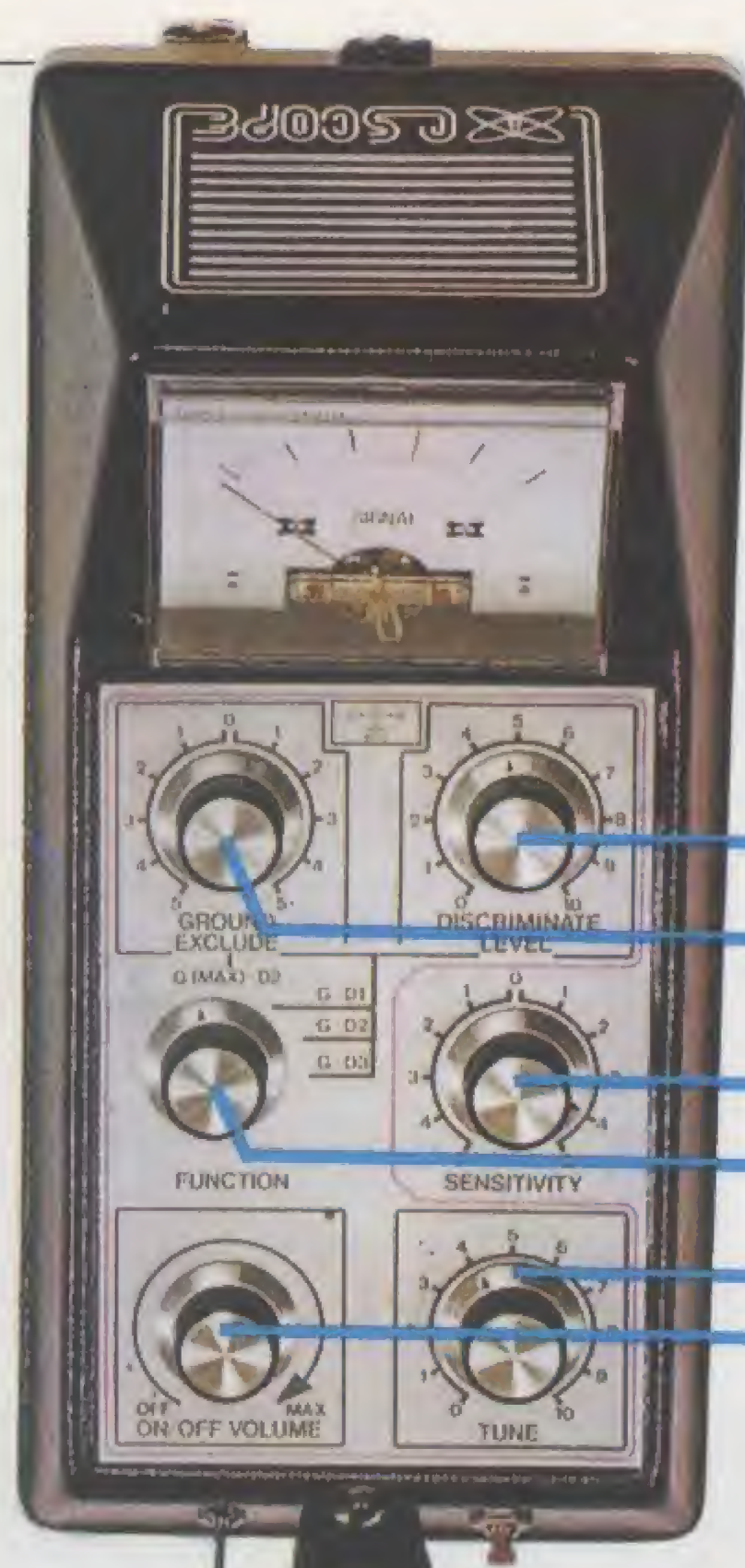
En la imagen superior, dos modernos detectores para metales, de los cuales el situado en la parte inferior está dotado de empuñadura con mango contraequilibrado como

ante Brazo. En estos instrumentos se ha recurrido a la tecnología de circuitos integrados en el sistema de dirección analítica (ADC), que posibilita un funcionamiento

automático. Esto permite eliminar los efectos secundarios del suelo y obtener unos buenos análisis de separación de los objetos detectados. De este modo es posible eliminar las fuertes

interferencias generadas en terrenos muy mineralizados o salinos. Bajo estas líneas, esquema de cómo actúa el detector sobre la capa más inmediata a la superficie del suelo.





control de
choque variable

control de
exclusión
del efecto
del terreno

control de
la sensibilidad

control
de las
funciones

sintonía
control
de volumen

control
ADC

Junto a estas líneas, el módulo de mando para detectores analíticos. El control ADC permite obtener la mejor sintonía, volver a "llamar" a la sintonía memorizada y analizar electrónicamente los objetos detectados. El control del volumen regula el nivel auditivo de las señales de salida. La sintonía preselecciona la sensibilidad deseada. El selector de funciones controla y excluye los efectos secundarios del suelo, discrimina los objetos ferrosos, los objetos de hierro y estaño, y los objetos de hierro, estaño y láminas. Esta posibilidad de selección hace más fácil la búsqueda. El control de sensibilidad reduce también los efectos secundarios del terreno. El control de exclusión del efecto del terreno elimina los efectos nocivos del suelo. El control de rechazo variable permite la máxima sensibilidad de diferenciación. Bajo estas líneas se ve cómo pueden ser utilizados directamente sobre el terreno los detectores de metales.

impulso alcanza un objeto metálico, induce un campo magnético que es recibido y registrado por la bobina. Dado que la radiación electromagnética se mueve a velocidad finita (a la velocidad de la luz), la localización del objeto puede ser determinada analizando el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la señal.

Se conocen muchos tipos de detectores de metales que pueden distinguir la chatarra (latas, papeles de estaño, clavos, etc.) de metales como el oro, la plata y el cobre.

También existen distintos tipos de detectores que han sido diseñados para poder funcionar debajo del agua.

En cualquier equipo, sea del tipo que sea, las cabezas de detección o de exploración están encerradas en contenedores de plástico muy robustos y son, generalmente, resistentes al choque y la abrasión. Es importante que dichas cabezas sean colocadas lo más próximas posible al terreno, incluso en ligero contacto con él siempre que sea posible. Para obtener el máximo alcance, los detectores de metales deben hacerse oscilar lentamente de un lado para otro, de forma que las trayectorias se superpongan parcialmente.

Véase Bobina eléctrica; Electromagnetismo; Magnetismo; Metales



Metales, trabajo de los

Aunque la obtención de objetos metálicos se remonta a hace unos 5.000 años, como ciencia empezó hace apenas un siglo, al aplicar al estudio y trabajo de los metales los principios físicos, químicos y cristalográficos. Si bien algunos metales, como el hierro, el cobre, el plomo y el estaño, eran utilizados desde antiguo, no es hasta la Revolución Industrial cuando adquieren su papel de elementos fundamentales del desarrollo económico.

Principales técnicas Las principales técnicas para el trabajo de los metales pueden ser divididas en dos categorías. La primera está constituida por la *fusión*: el metal fundido es vertido o inyectado de manera adecuada. Cuando el metal solidifica, adquiere la forma del molde y se obtiene la *fundición* —así es como se denomina— con la configuración deseada.

El recipiente, llamado *mazarota*, que tiene la función de alimentar la fusión cuando se contrae la pieza al enfriarse.

Cuando el metal solidifica, se extrae del molde y se quita la rebaba para obtener el producto final. Los moldes de arena son utilizados para fabricar productos muy diversos, con pesos que pueden variar desde pocos gramos hasta cientos de toneladas.

La segunda categoría de las técnicas para la elaboración de los metales comprende aquellos métodos que permiten modificar la configuración mediante deformaciones plásticas.

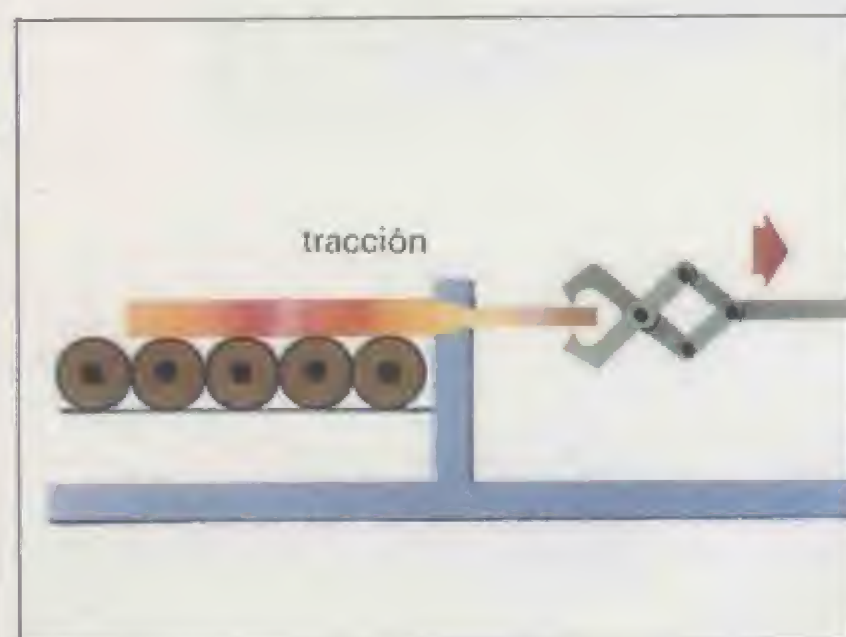
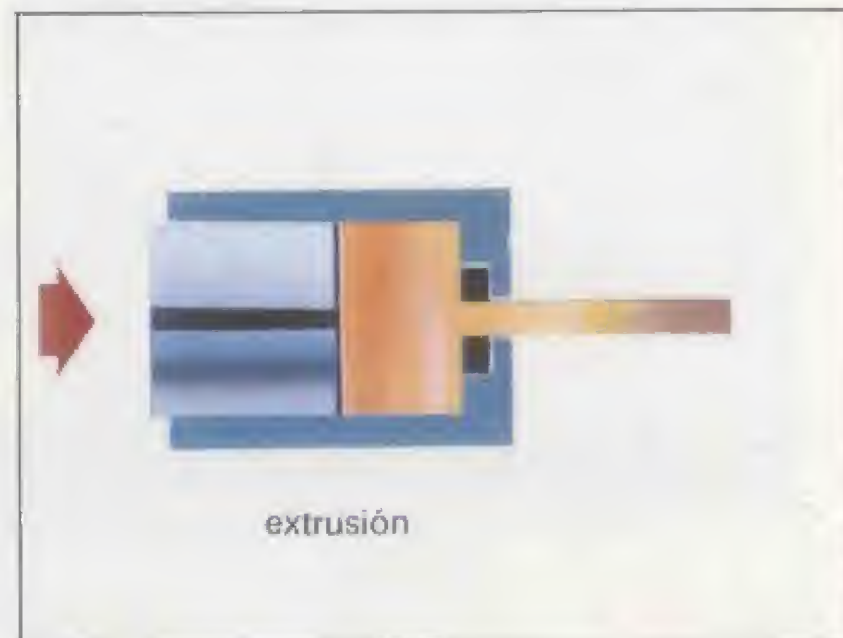
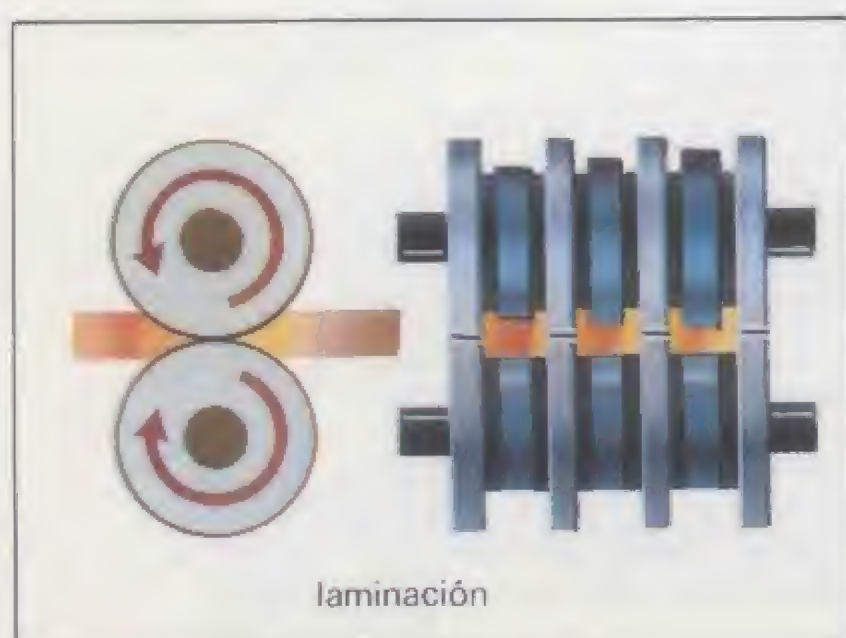
Estos métodos pueden realizarse tanto en frío como en caliente. El más importante es la *laminación*. Esta se realiza haciendo pasar el metal entre unos cilindros que reducen poco a poco el espesor hasta obtener el deseado; se consiguen así semie-

laborados planos, cuadrados o redondos, destinados a elaboraciones sucesivas, o bien productos terminados, como láminas, vigas, cintas, alambres de latón, etcétera.

El trabajo del metal en frío permite reducir la sección de la pieza, haciendo pasar el metal mediante tracción a través de un agujero de precisión. De esta manera se obtienen tubos de distinta forma, barras de pequeña sección e hilos de diámetros muy pequeños.

El estampado en frío o en caliente, el corte y el rellenado en frío permiten que el metal tome las formas más diversas (lingotes, láminas, cintas, etcétera).

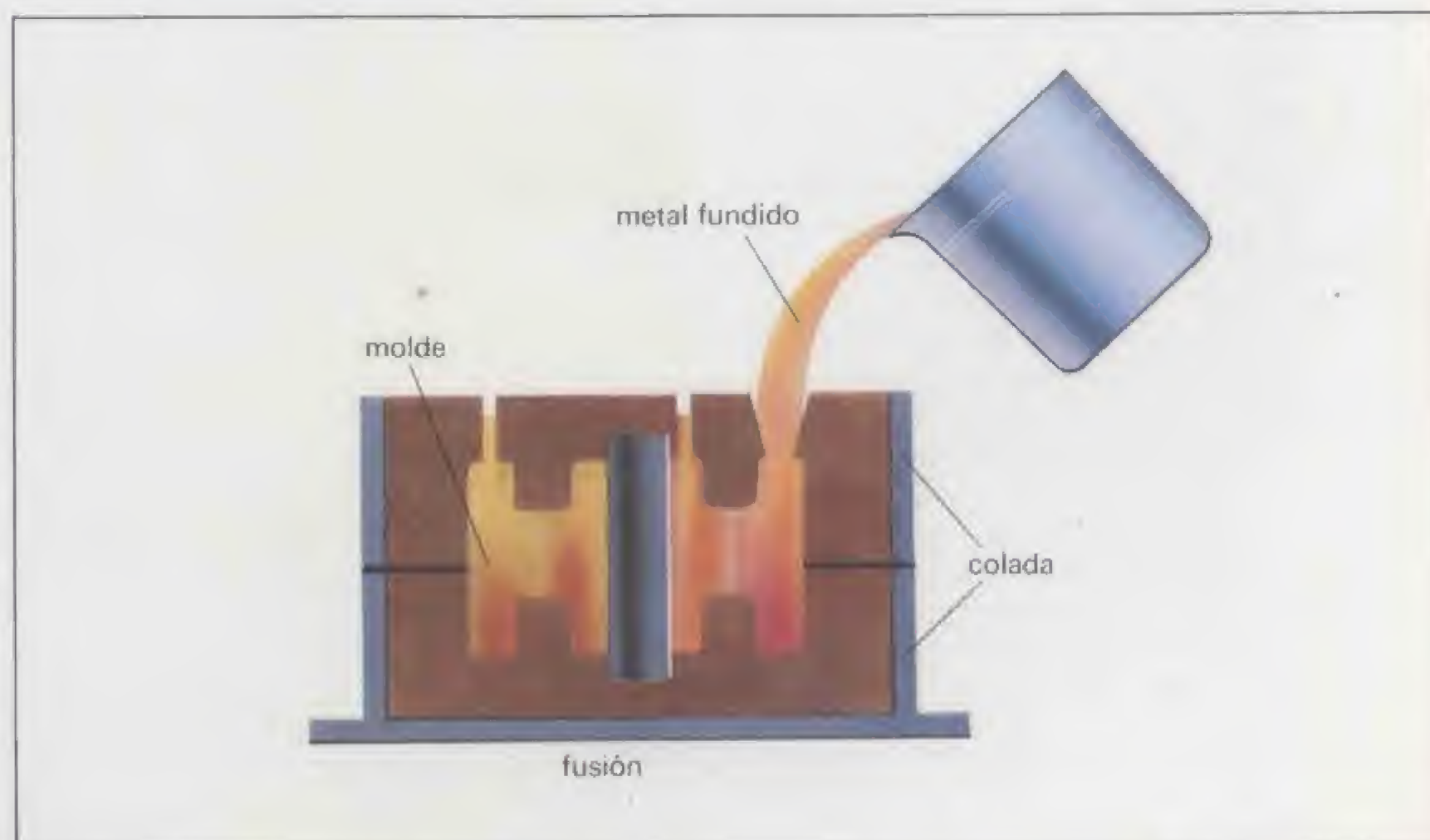
La metalurgia en la industria Todas las técnicas anteriormente descritas son aplicables en la industria. Las vigas comunes son fabricadas haciendo pasar en caliente barras de acero entre cilindros con

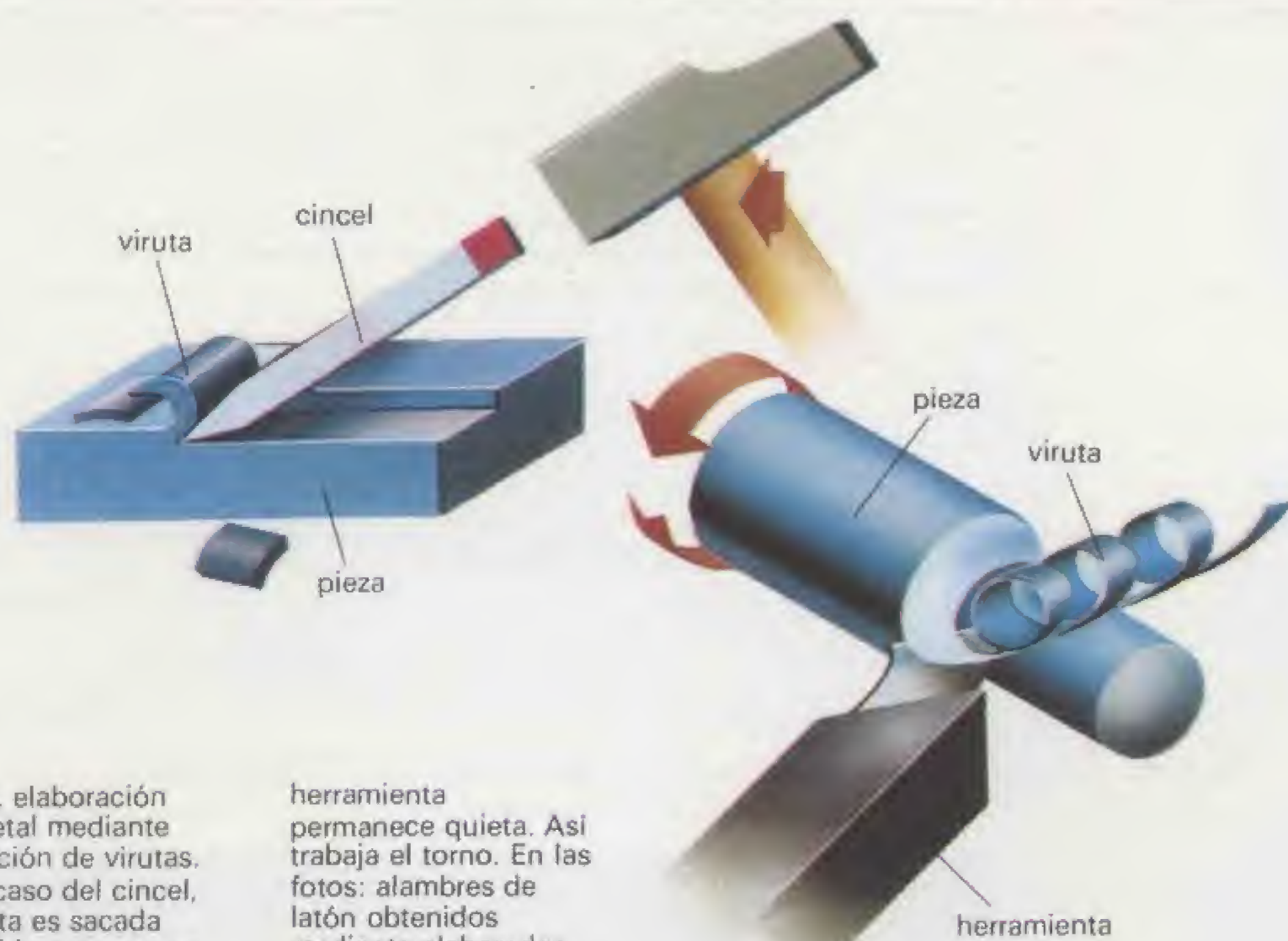


Esquema de los principales procesos de elaboración a los cuales son sometidos los metales. Arriba, de izquierda a derecha: laminación de una viga. A la barra de metal se la hace pasar en caliente a través de cilindros moldurados, que con sucesivas elaboraciones la transforman dándole la forma definitiva. Luego, forjado de una pieza metálica efectuado en

caliente. Golpeando con el martillo sobre el yunque se le da a la pieza metálica la forma deseada. Y extrusión de una masa metálica al estado plástico a elevada temperatura a través de un molde apropiado. Debajo, tracción de una barra para obtener un hilo y estampado en caliente de una pieza. Bajo estas líneas, obtención de una pieza de metal por fusión.

Existen muy distintos métodos de fusión, que varían según la posibilidad de utilizar una o más veces el molde. El método de fusión más utilizado es el de molde de arena. Con esta técnica se prepara un cuerpo de madera que tiene la configuración del producto final (con un margen de tolerancia en previsión de las contracciones del metal durante el enfriamiento) y que es comprimido dentro de arena mantenida húmeda. Dicho cuerpo —llamado *modelo*— se extrae después y la arena se endurece produciendo el molde. Este se construye en dos mitades para poder sacar el modelo una vez concluida la operación. Las dos mitades del molde (tapa y rastra) se cierran y fijan para evitar la flotación de la parte superior al colar el metal. El molde presenta también canales de venteo, con el fin de evitar la aparición de burbujas de aire o gas en alguna parte de la pieza, y una especie de re-





Arriba, elaboración del metal mediante extracción de virutas. En el caso del cincel, la viruta es sacada a medida que avanza aquél, mientras que la pieza está parada. Al lado, la viruta es extraída de la pieza por rotación de ésta, mientras que la

herramienta permanece quieta. Así trabaja el torno. En las fotos: alambres de latón obtenidos mediante elaboración en caliente, y cintas a la salida de la planta de decapado (tras el tratamiento con ácido sulfúrico para la eliminación de óxidos).

lúrgicas, adaptadas de la industria. Algunas industrias trabajan exclusivamente para los artistas, proporcionándoles enormes cantidades de acero para las grandes esculturas. Los artistas y artesanos del pasado han dejado una enorme variedad de formas de trabajar el metal en piezas fundidas de menores dimensiones.

Los escultores, desde el antiguo Egipto, pasando por la Grecia clásica y Roma, hasta los tiempos de Rodin, han utilizado técnicas diversas para la fundición de sus esculturas. Desde la Antigüedad los joyeros han trabajado el metal fundido de diferentes formas, añadiendo ornamentos con punzones o mediante incisiones, o incluso realizando inclusiones de otros materiales en láminas de metal precioso.

Véase **Aleación; Fundición y colada; Metales; Metalurgia**



una canaladura especial. Una aleación de hierro, normalmente conocida con el nombre de *fundición de hierro*, es utilizada en la fusión de productos tales como bloques de motores y otras partes de los automóviles.

Otra técnica de elaboración de los metales particularmente interesante es utilizada para realizar pequeñas partes mecánicas que requieren un alto grado de precisión. Dicha técnica emplea metales pulverizados. El metal pulverizado es puesto en un troquel y sometido a presión y temperatura elevadas. El material no se funde, pero, mediante un proceso llamado de *sinterización*, las partículas metálicas se unen entre sí dando lugar a una masa sólida con la forma deseada.

La metalurgia en el arte En la actualidad muchas obras de arte, monumentales o no, se realizan utilizando técnicas meta-



APL Falck, Sesto S. Giovanni

Metales alcalinotérreos

NOMBRE	SIMBOLO	ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	NUMERO ATOMICO	PESO ATOMICO	ESTADO NATURAL	DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	PRODUCCION	p.f. (°C)
BARIO	Ba	del griego βαρύς, "pesado"	56	137,34	en los minerales baritina, espato pesado y witherita	H. Davy (1807)	reducción térmica con aluminio del óxido, o descomposición térmica del nitrato	725
BERILIO	Be	del mineral <i>berilo</i> , en griego βήρυλλος	4	9,0122	poco abundante en la Naturaleza; el principal mineral es el berilo	L. N. Vauquelin (1798)	del berilo por fusión y tratamiento con ácido	1.315
CALCIO	Ca	del latín <i>calx</i> , "cal"	20	40,08	en muchos minerales silicatados (feldespatos, anfíboles, piroxenos), en la piedra caliza y en la dolomita, en el agua de mar	H. Davy (1808)	electrolisis del cloruro fundido	842,8
MAGNESIO	Mg	de Magnesia, en Tesalia	12	24,312	en los minerales magnesita, dolomita, olivino, serpentina; en muchas rocas y en el agua de mar	J. Black (1755) H. Davy (1808)	electrolisis del cloruro fundido o reducción del óxido	650
RADIO	Ra	del latín <i>radius</i> , "radio"	88	—	en los minerales de uranio	P. y M. Curie (1898)	subproducto de la metalurgia del uranio	700
ESTRONCIO	Sr	de Strontian, ciudad de Escocia	38	87,62	en los minerales celestina, estroncionita y junto a las sales de calcio	H. Davy (1808)	reducción del óxido con silicio o aluminio	769

En la tabla periódica de elementos, los metales alcalinotérreos ocupan una fila de casillas contigua a la de los metales alcalinos (litio, sodio, potasio, rubidio, cesio y francio), con los que presentan semejanzas en su comportamiento químico. Además, en muchos de sus minerales se aprecia un aspecto terroso: esta circunstancia y su semejanza con los materiales alcalinos indujeron en el pasado a los químicos a denominar a este grupo de elementos como *metales alcalinotérreos*. Son, por orden: el berilio (Be), el magnesio (Mg), el calcio (Ca), el estroncio (Sr), el bario (Ba) y el radio (Ra), que es un elemento radiactivo.

A causa de su pronunciada reactividad, los metales alcalinotérreos no existen en la Naturaleza en estado elemental, sino en forma combinada. El calcio es el más abundante en la corteza terrestre (3,6%), seguido del magnesio (2,1%); mucho menos abundantes son el estroncio y el bario, mientras que el berilio es decididamente escaso, y el radio, escasísimo (se encuentra asociado a un mineral del uranio conocido como *pechblenda*).

Los átomos de los metales alcalinotérreos poseen dos electrones en el nivel más exterior, que son fácilmente "perdidos" (esto es, transferidos a otros elemen-

tos) cuanto mayor es el número atómico; y ello porque cuanto mayor es el átomo, tanto menor es la atracción ejercida por los protones (positivos) del núcleo sobre los electrones (negativos) más externos. Al perder su pareja de electrones externos, los metales alcalinotérreos se transforman en los correspondientes iones con dos cargas positivas, asumiendo la estructura electrónica estable de los gases nobles que les preceden en la tabla periódica. Por ello forman siempre —excepto, en ciertos casos, el berilio— compuestos iónicos: por ejemplo, los cristales de cloruro de calcio CaCl_2 están formados por iones calcio Ca^{++} e iones de cloro Cl^- , que se atraen recíprocamente gracias a fuerzas electrostáticas.

Los metales alcalinotérreos presentan un aspecto generalmente blanco-plateado (a excepción del berilio, que es gris); si se calientan en presencia del aire, se queman, y este fenómeno es particularmente "vistoso" en el magnesio, cuyos filamentos arden con luz muy intensa.

El calcio y en particular el estroncio y el bario reaccionan con el agua liberando hidrógeno y formando los correspondientes hidróxidos, que se comportan como bases fuertes (el hidróxido de calcio —que se obtiene tratando con agua la cal viva, u óxido de calcio— es conocido como *cal apagada*).

La preparación industrial de los metales alcalinotérreos se lleva a cabo generalmente por electrolisis de sus respectivas sales fundidas. Los elementos de este grupo que presentan mayor interés son el berilio, el magnesio y el calcio.

El berilio metálico se utiliza eficazmente en las estructuras de los vehículos espaciales debido a la elevada relación entre resistencia y peso. También algunas de sus aleaciones con aluminio se emplean en la tecnología aeroespacial. Añadido en pequeñas cantidades al cobre y al níquel, forma dos grupos de aleaciones de importantes prestaciones mecánicas.

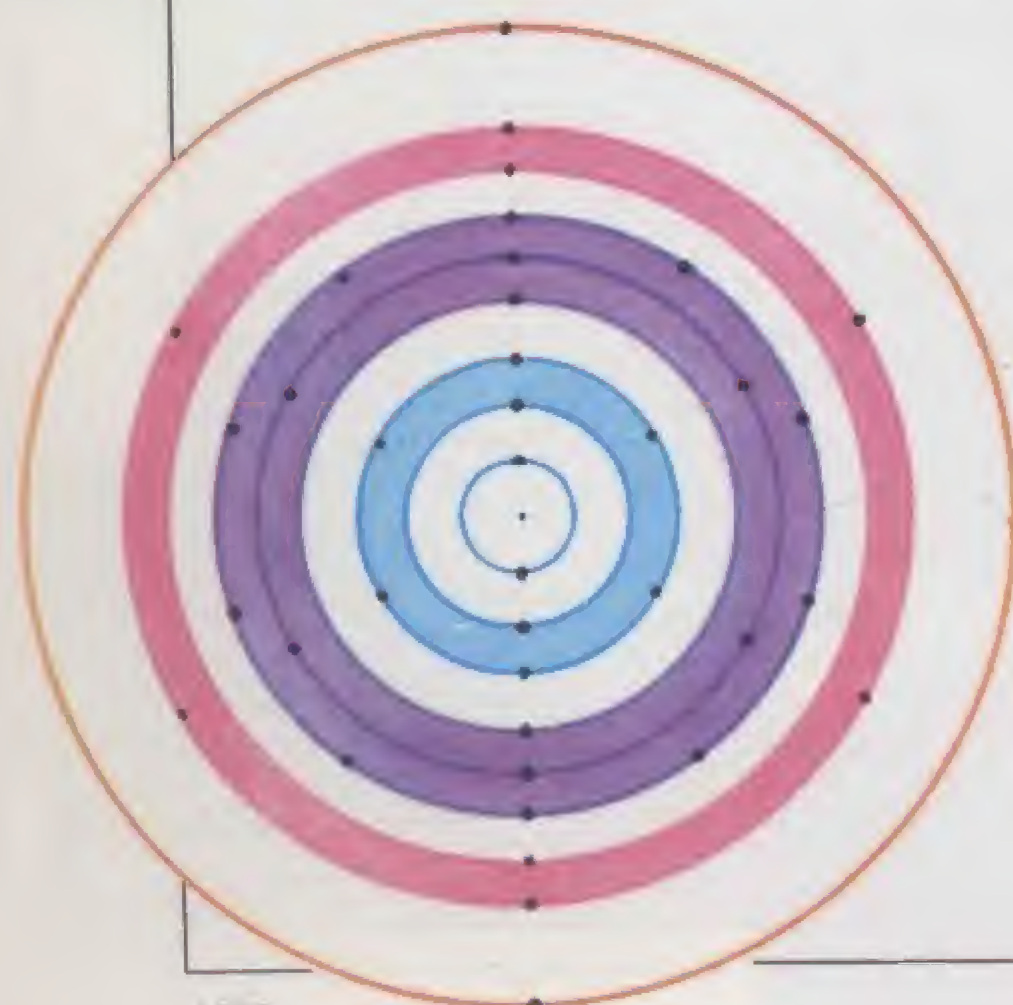
El magnesio, que tiene una densidad del 35% inferior al aluminio, ocupa el primer lugar por ligereza entre los metales de construcción y encuentra aplicaciones en la fabricación de importantísimas aleaciones ultraligeras utilizadas en las industrias automovilística y, sobre todo, aeronáutica.

El calcio metálico se usa para obtener aleaciones especiales con el plomo y el aluminio.

Más limitados son los usos del estroncio: entre ellos destaca la utilización en pirotecnia de una sal suya, el nitrato, que da a la llama un color rojo vivo.

El bario se emplea en radiología, en forma de una papilla que contiene sulfato de bario y que al ser ingerida pone de manifiesto el tubo digestivo (por ser el bario opaco a los rayos X). El mismo sulfato tiene también importantes aplicaciones como pigmento.

Veáse Calcio; Magnesio; Metales; Radio; Tabla periódica de elementos

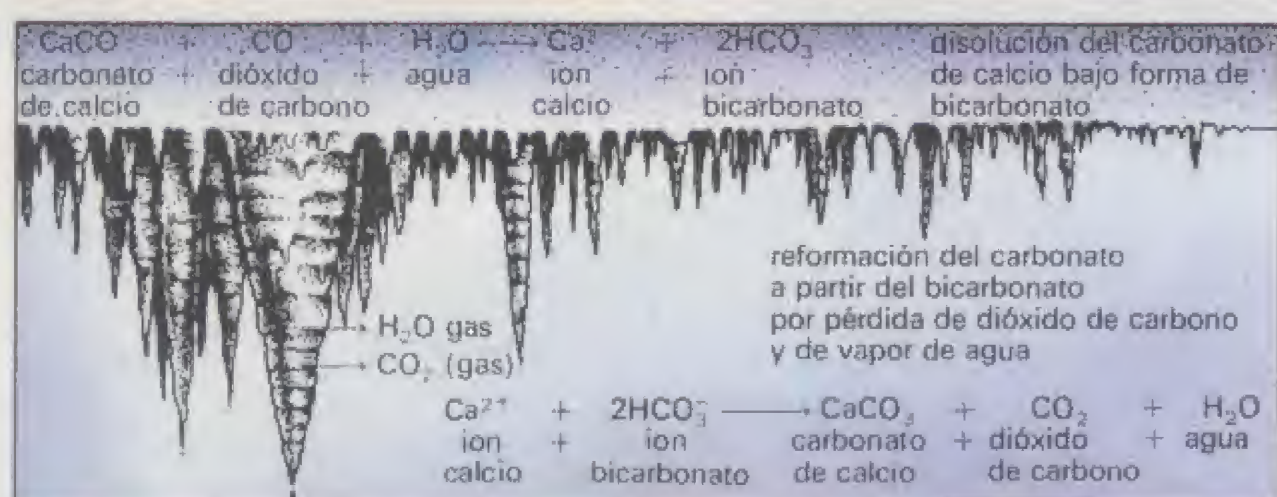


Los átomos de los metales alcalinotérreos (representados por el estroncio, a la izquierda) poseen en el nivel más externo una pareja de electrones, que resultan fácilmente transferibles a otros elementos (como, por ejemplo, a los

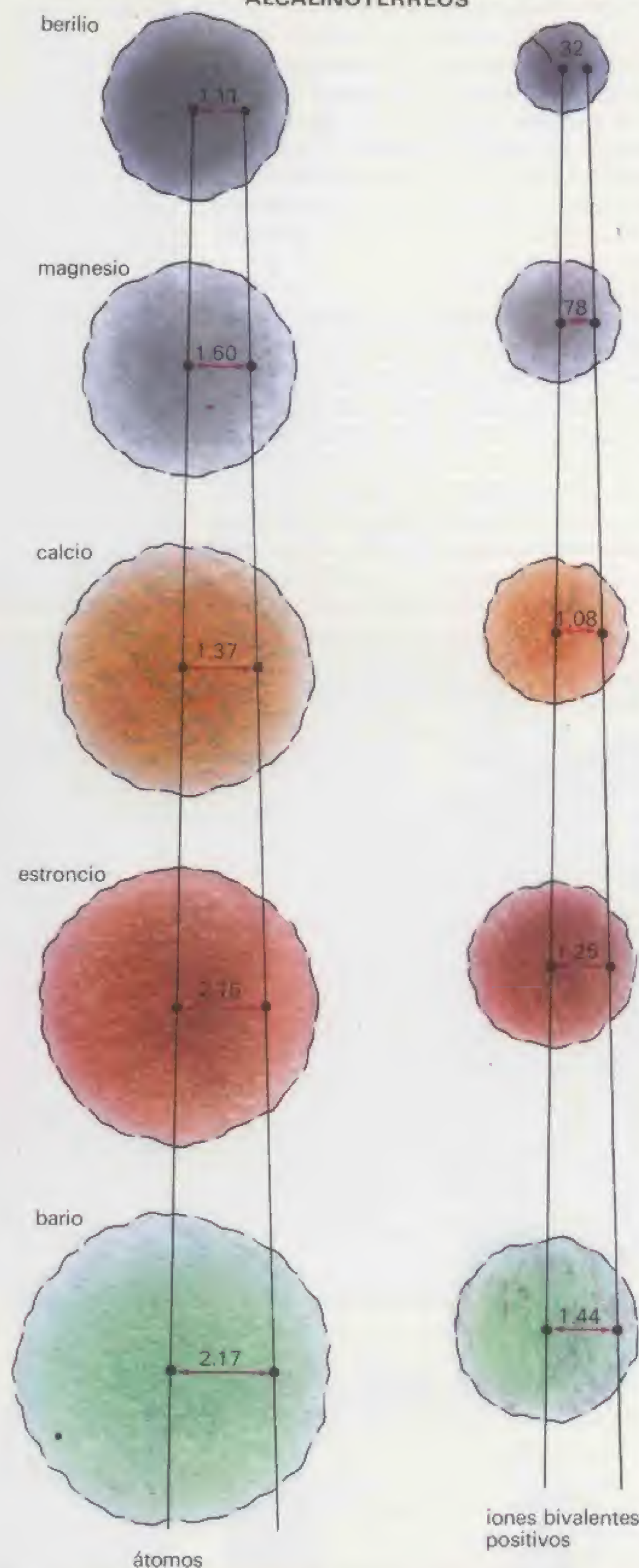
halógenos, que tienen tendencia a adquirirlos). Los metales alcalinotérreos se transforman de esta manera en iones bivalentes positivos, formando en sus compuestos uniones químicas de tipo electrostático (o iónico).



p. eb. (°C)	PESO ESPECÍFICO O DENSIDAD	PROPIEDADES Y APLICACIONES
1.140	3,5	metal blando; se usa en aleación con el níquel, el plomo y el calcio; el sulfato se usa en radiología
2.970	1,85	metal usado en los reactores nucleares; en aleación con el cobre sirve para contactos eléctricos, muelles, etc.
1.487	1,55	metal esencial en la vida de las plantas y de los animales; sirve para la preparación de aleaciones para cojinetes, en la fabricación de aceros y en la industria termoiónica; sus compuestos importantes son el óxido (cal viva), el hidróxido (cal apagada), el sulfato (yeso), el carbonato (calcita y aragonito)
1.103	1,74	metal reactivo; usado para la preparación, con el aluminio, el cinc y el manganeso, de aleaciones ultraligeras usadas en aeronáutica, automovilismo y misilística
<1.737	5	elemento fuertemente radiactivo y químicamente reactivo; usado para aplicaciones terapéuticas y para análisis de materiales
1.384	2,60	metal usado para dar color rojo a los fuegos artificiales; no tiene otros usos prácticos



DIMENSION DE LOS ATOMOS E IONES DE LOS METALES ALCALINOTERREOS

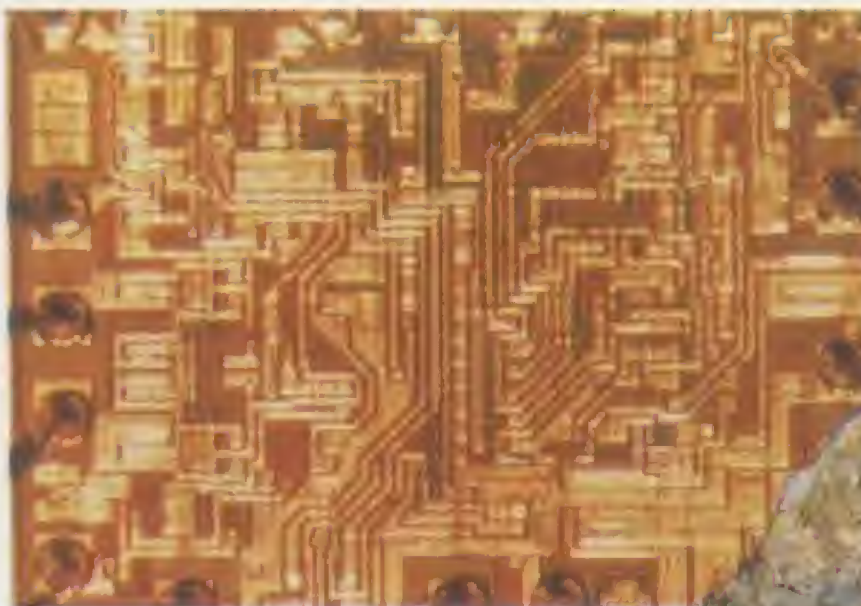


Sobre estas líneas, comparación entre los radios metálicos e iónicos de los metales alcalinotérreos. También arriba, a la izquierda, las típicas estructuras de carbonato de calcio (estalactitas y estalagmitas) presentes en las grutas y su esquema de formación. Abajo, de izquierda a derecha: calcio metálico (página anterior), radio, berilio y magnesio en estado metálico.

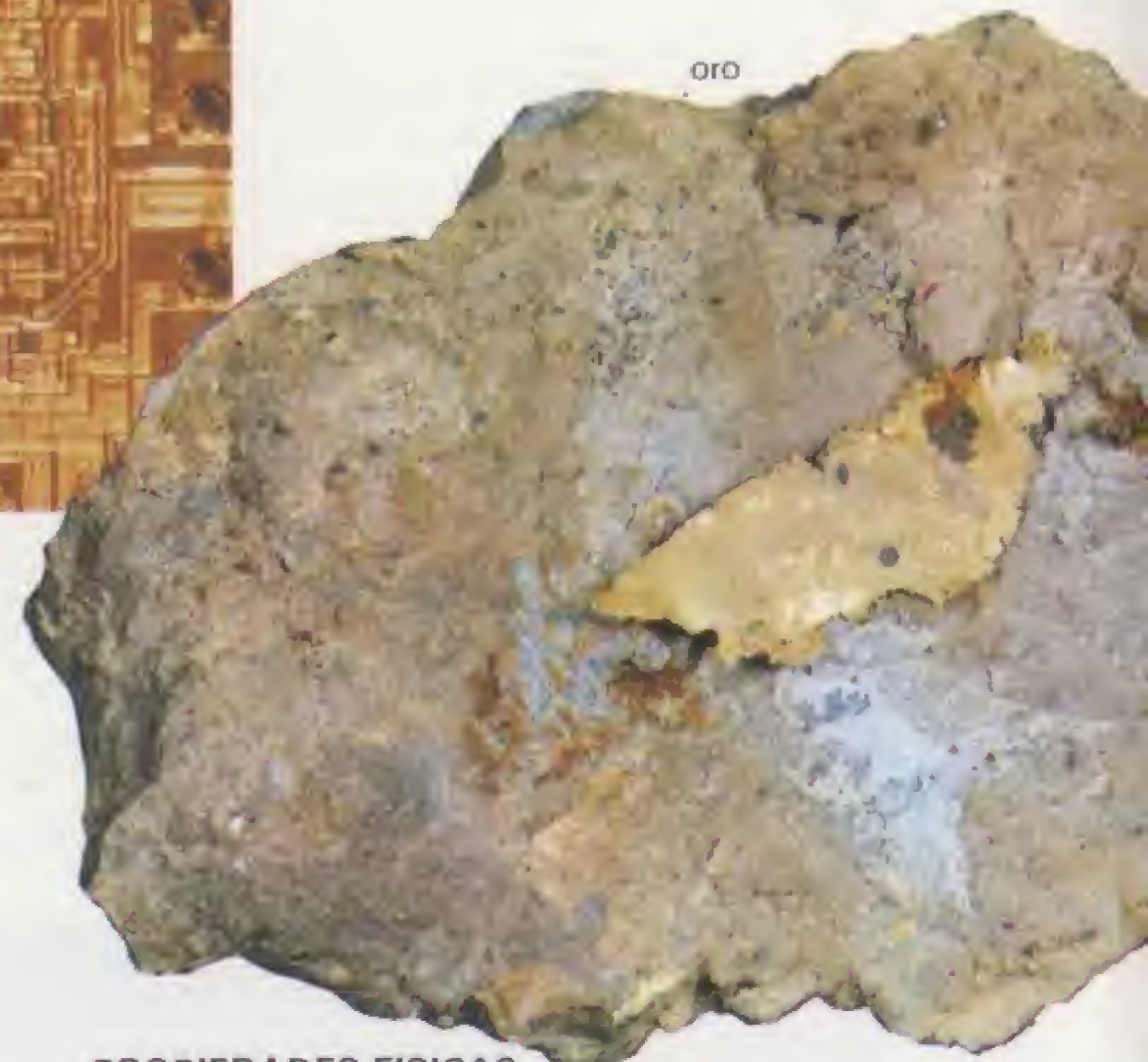
Metales nobles

El oro no se combina químicamente con ninguna de las sustancias comunes y conserva siempre su color y brillo característicos: por ese motivo los alquimistas lo consideraron un metal "noble". Hoy, en cambio, en cualquier laboratorio moderno es posible preparar óxido de oro, pero el adjetivo *noble* es aún corriente para éste y algunos otros metales que ofrecen resistencia a reaccionar químicamente.

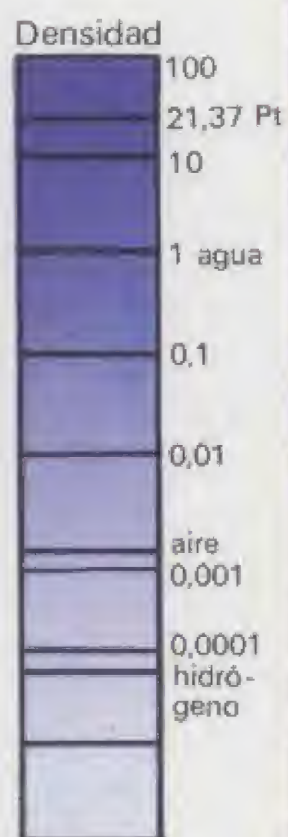
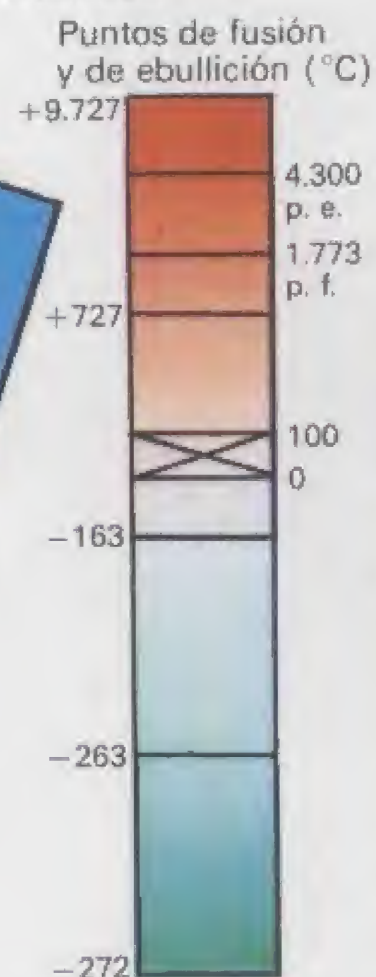
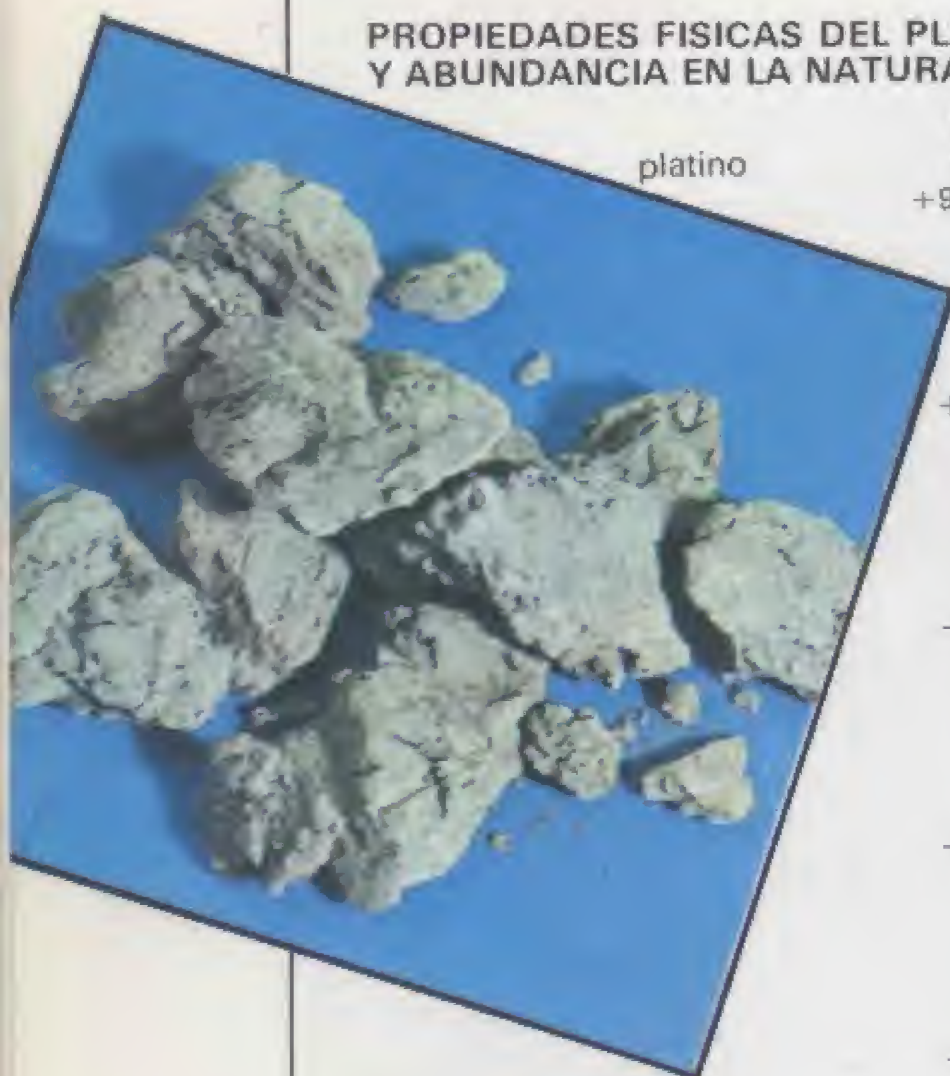
Una guía de los metales nobles Entre los metales nobles, los químicos señalan los siguientes: oro, plata, platino, paladio, rutenio, rodio, iridio, osmio y mercurio. En cierto sentido el oro es el más noble de todos, porque, respecto a los otros metales, el oro forma poquísimos compuestos. En condiciones ordinarias, permanece siempre inalterado: no pierde brillo ni se oxida nunca. Sin embargo, el ácido selénico ataca al oro, formando el seleniato de oro.



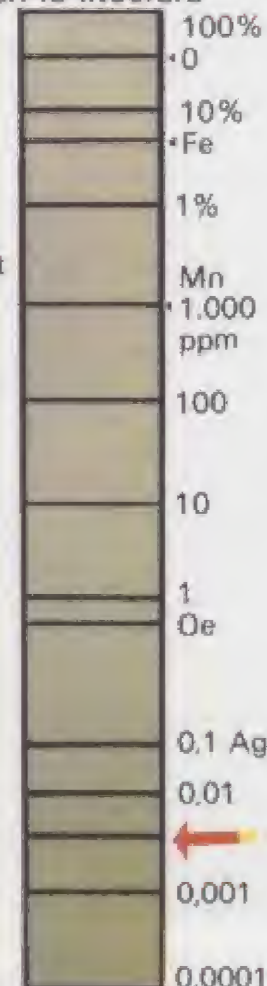
Hasta en la más remota Antigüedad el oro era recogido, valorado y empleado para la confección de joyas (arriba). Su nobleza, que se traduce en inercia química, permite encontrarlo en la Naturaleza en estado puro o nativo (a la derecha).



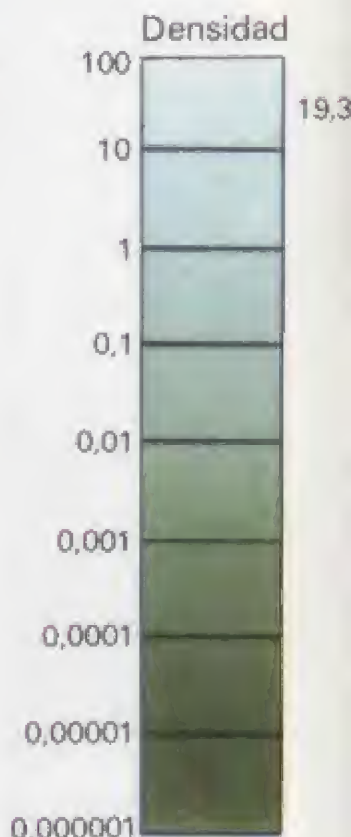
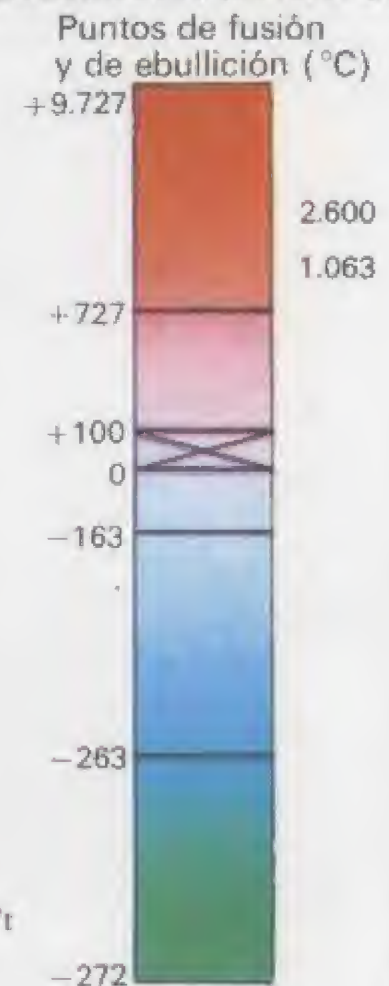
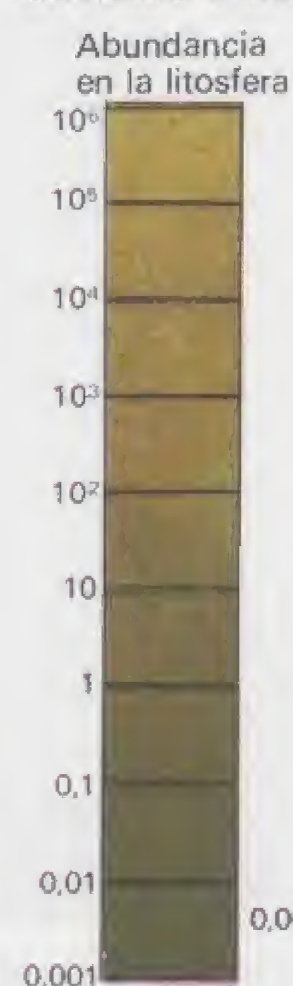
PROPIEDADES FISICAS DEL PLATINO Y ABUNDANCIA EN LA NATURALEZA



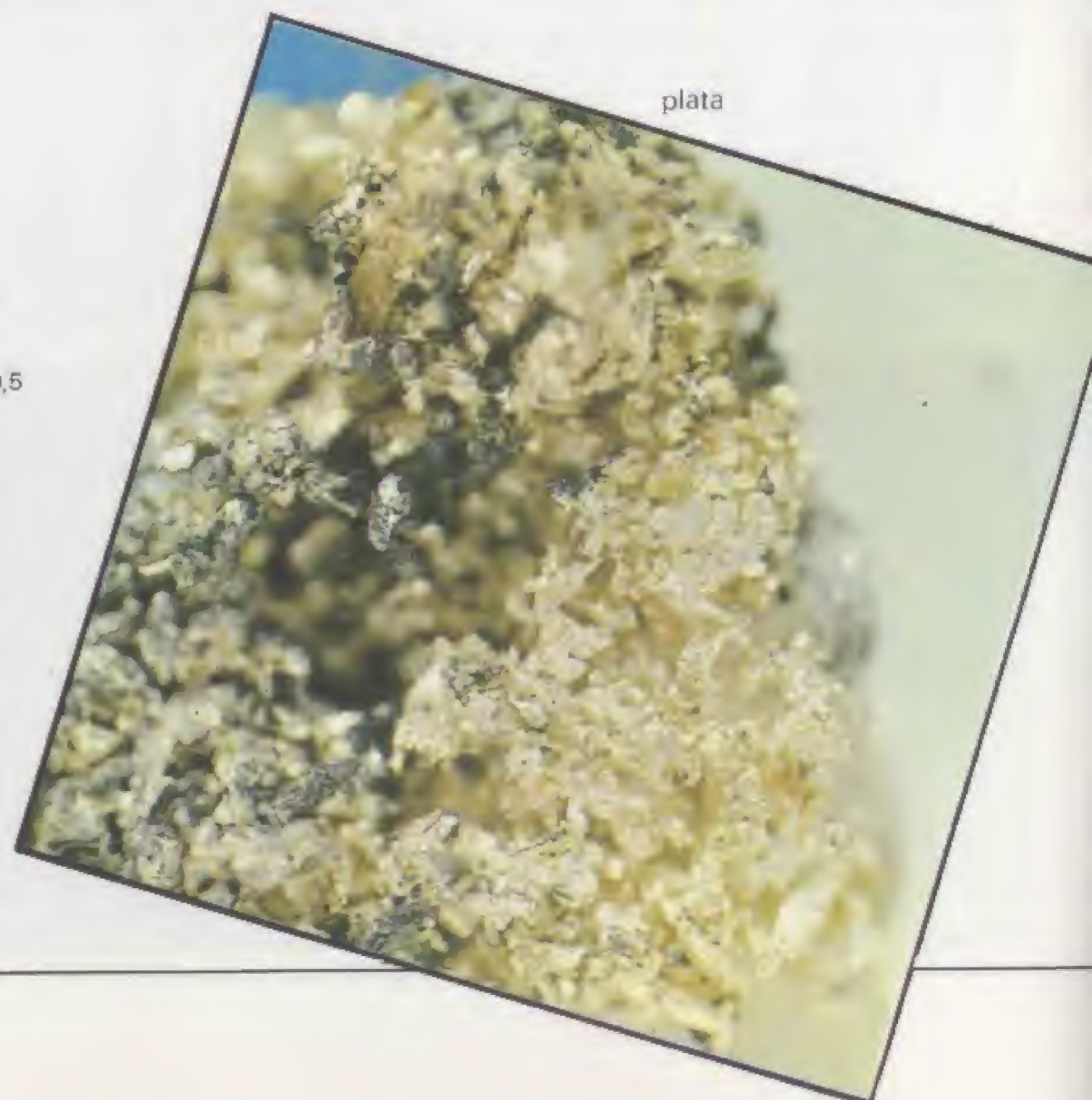
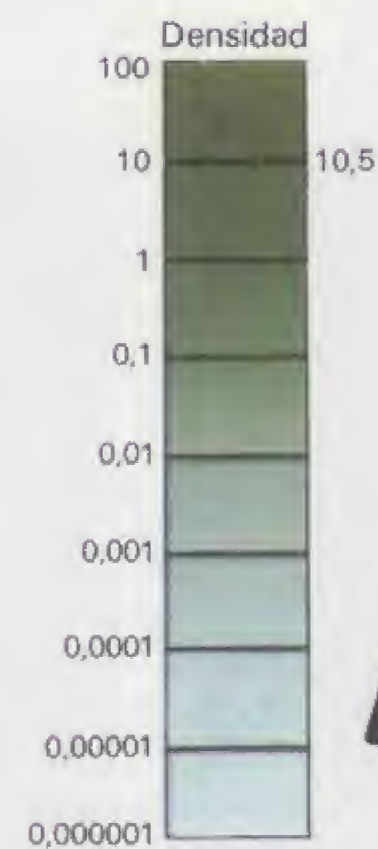
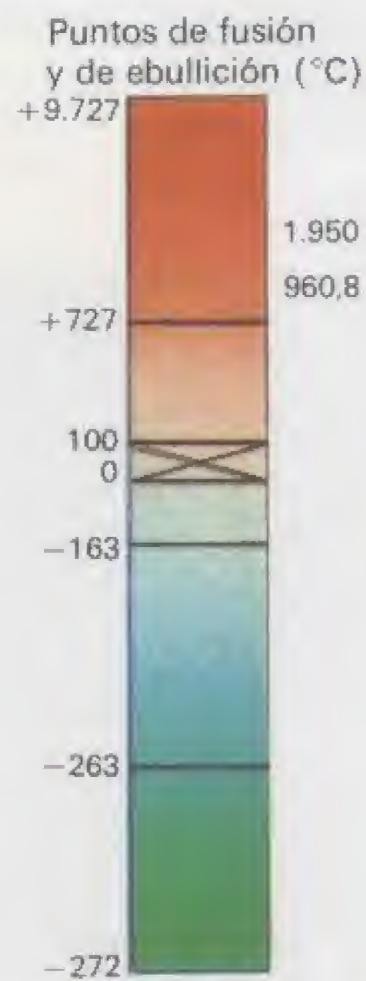
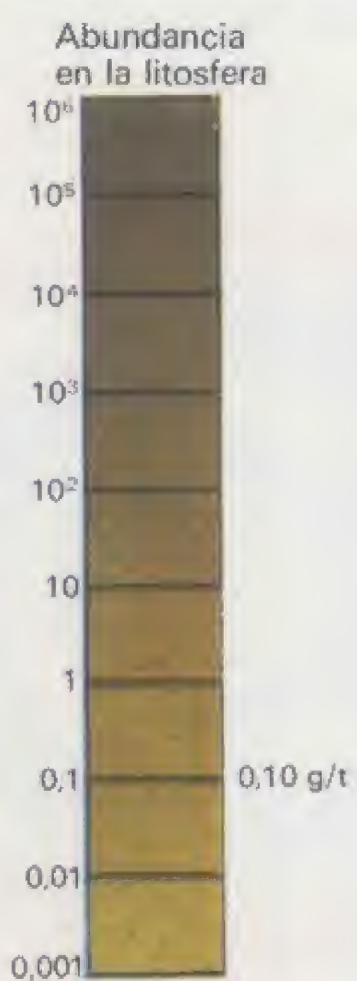
Abundancia en la litosfera



PROPIEDADES FISICAS DEL ORO Y ABUNDANCIA EN LA NATURALEZA



PROPIEDADES FISICAS DE LA PLATA Y ABUNDANCIA EN LA NATURALEZA



PROPIEDADES FISICAS DEL RODIO, DEL IRIDIO Y DEL PALADIO Y ABUNDANCIA EN LA NATURALEZA



Bajo estas líneas, polvo de rodio y, en el centro, polvo de iridio. El rodio, químicamente inerte, es también muy duro, por lo que se emplea para revestimientos delgados, pero mecánicamente muy

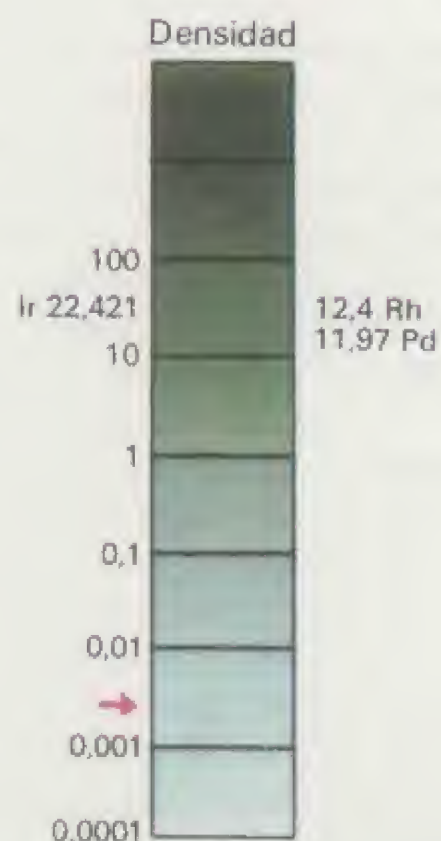
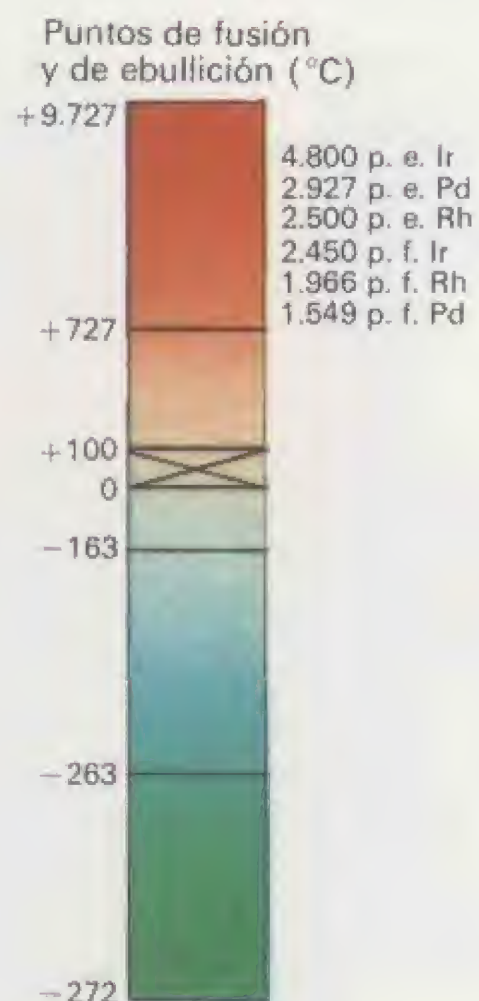
rígidos. Posee también un poder reflectante elevadísimo en el ultravioleta lejano. El iridio es discretamente duro; se usa para aleaciones con el oro y el platino, a los que confiere una cierta dureza



También el agua regia, una mezcla de ácido clorhídrico y nítrico, tiene la propiedad de reaccionar con el oro. De cualquier forma, y a pesar de la escasísima reactividad de este metal, existen algunos compuestos del oro (por ejemplo, el cloruro de oro y el cianuro de oro), pero tales sustancias no se encuentran casi nunca, salvo en los laboratorios o en algunos procesos metalúrgicos.

El *platino* es un metal más pesado y mucho más duro y resistente que el oro. Aunque también es un metal noble, forma varios compuestos químicos, entre ellos el ácido cloroplatínico, el cloro platinato de potasio y dos tipos de óxido. Se combina también con el amoníaco, y con el carbono y algún otro elemento químico.

Existen ciertos metales que, por sus características químicas, son similares al platino, y por esta razón se denominan, junto a dicho elemento, *grupo del platino*. Tales metales son el paladio, el osmio, el rodio,



El platino (en el centro de la página anterior) y el paladio, arriba, aparecen también en forma de polvo, que a menudo se comercializa para diversas aplicaciones, entre las que destaca la de catalizadores. El paladio sustituye al

platino en esta función química, con la ventaja de su menor coste. Menos noble y costosa es la plata (página anterior, abajo), cuyo uso principal está ligado a sus halogenuros, que son empleados en fotografía.

el rutenio y el iridio. Tienen todos un elevado peso específico y un alto punto de fusión, y en la tabla periódica de los elementos (tabla en la cual todos los elementos químicos se disponen según su número atómico) se encuentran próximos. Los metales del grupo del platino se encuentran a menudo juntos en la Naturaleza.

La *plata* no se combina con el oxígeno para dar óxidos; sin embargo, hay muchos compuestos de la plata, como por ejemplo el sulfuro, el cloruro, el bromuro, etcétera.

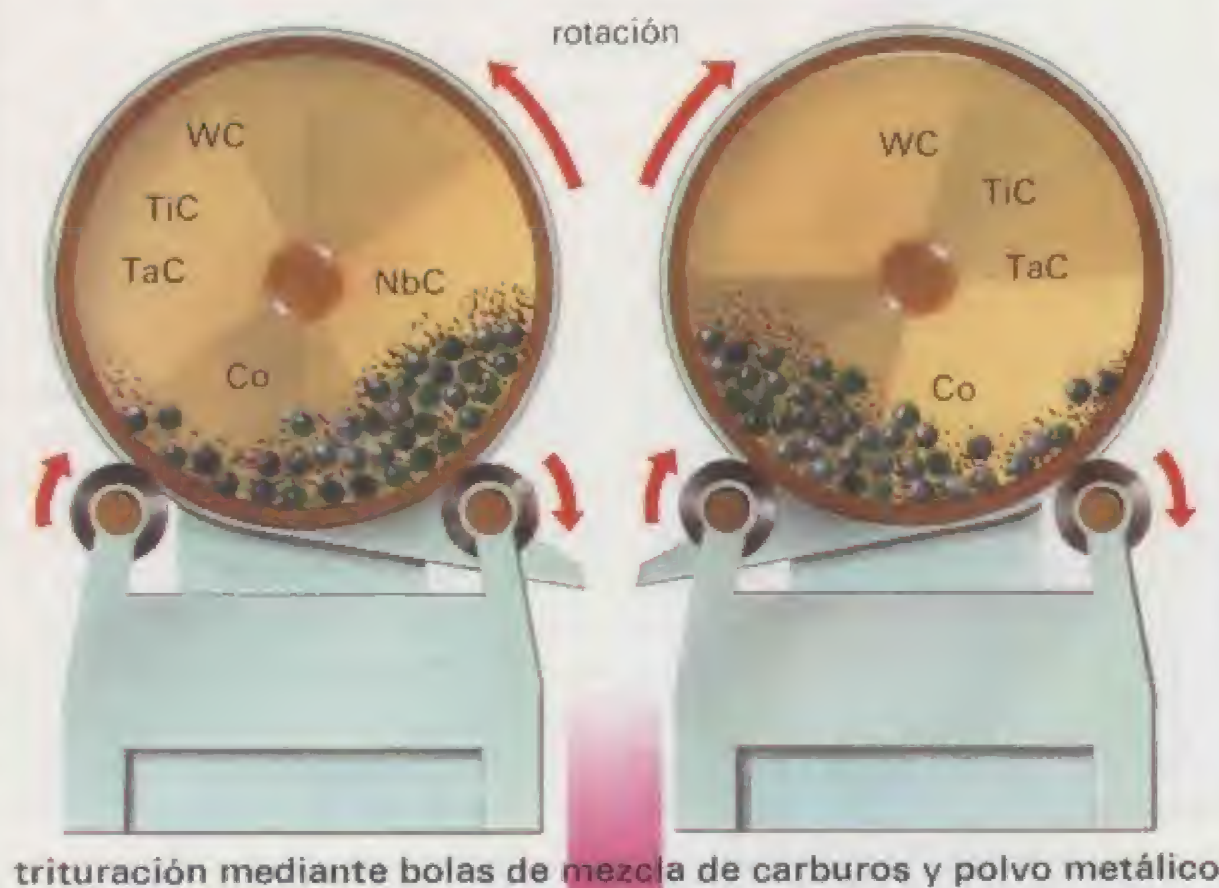
El *mercurio* se combina con el oxígeno a temperaturas por encima de los 300 °C, dando lugar al óxido de mercurio. Forma también numerosos compuestos, como el nitrato de mercurio (I), el nitrato de mercurio (II) y el cloruro de mercurio (I).

Véase **Mercurio (elemento); Metales; Oro; Paladio y rutenio; Plata; Platino; Tabla periódica de elementos**

Metalocerámica

C = carbono
W = wolframio
Ti = titanio
Ta = tantalio
Nb = niobio

Co = cobalto
WC = carburo de wolframio
TiC = carburo de titanio
TaC = carburo de tantalio
NbC = carburo de niobio

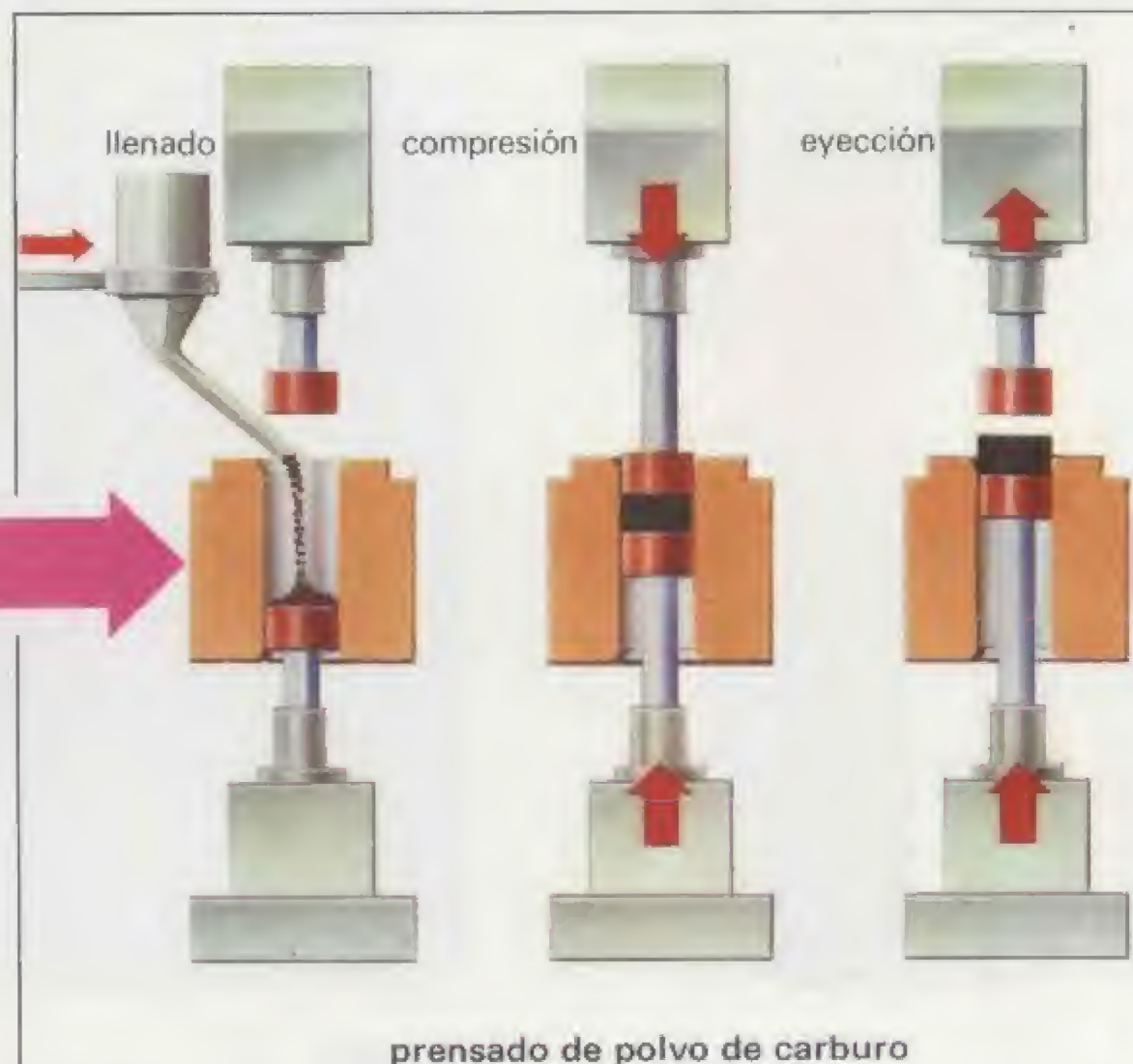
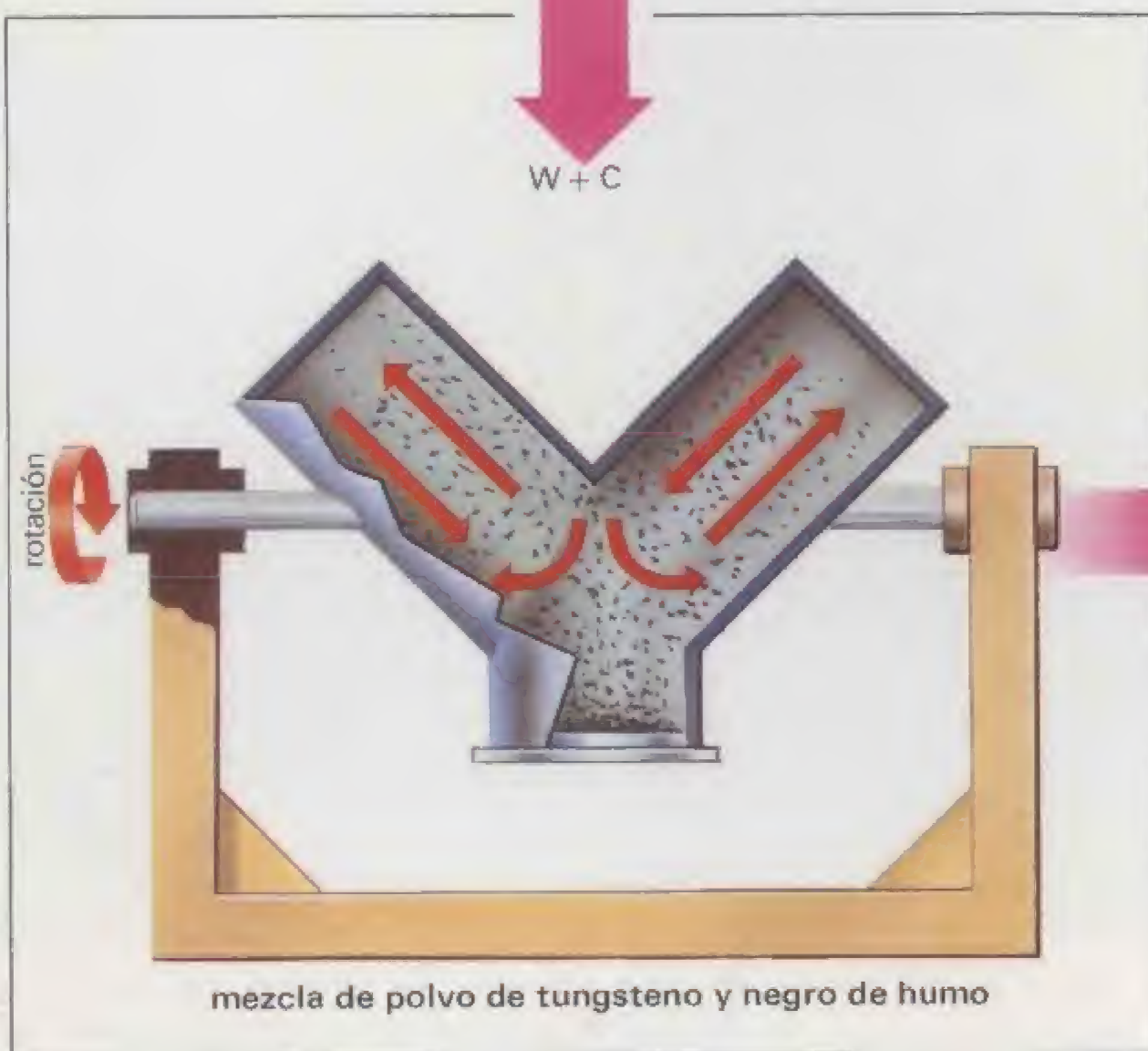


A a izquierda, la primera fase de la preparación del material con el cual se elabora un cermet: tritución del polvo de los componentes dentro de un molino de bolas. Hay uno dedicado a cada componente, al carburo u óxido y al polvo del metal. Abajo, los dos elementos son mezclados en un recipiente. Después, por medio de un dosificador, la cantidad requerida de polvo es introducida en un molde, dentro del cual será prensada en frío —ya en la forma deseada—, con una presión por valor de muchas toneladas por centímetro cuadrado. Se obtiene una papilla frágil lista para su elaboración en el horno.

feccionar las aleaciones metálicas existentes. De esta manera se elaboró un material resistente que empezó a utilizarse en el campo de la aeronáutica, donde se le dio el nombre de *cermet*. En Europa, estos materiales que presentan propiedades de metal y cerámica son frecuentemente llamados *metales duros*.

Producción Los cermets se obtienen generalmente mezclando polvo de cerámica y metal. La masa es sinterizada para formar un sólido; de esta manera es compactada en la forma deseada a presión muy elevada; a continuación es sometida a tratamiento térmico a una temperatura próxima a la de fusión, hasta que se produce la cristalización de las partículas de polvo. La mayor parte de los cermets tiene apariencia metálica; su componente cerámico sólo puede ser observado mediante el microscopio.

Los llamados *cermets difundidos* se obtienen dispersando el elemento metálico



Un material muy usado en las construcciones más avanzadas de la técnica nuclear y de misiles está constituido por una mezcla de productos cerámicos y metales en polvo. Por ello esta técnica se llama *metalocerámica* y el material refractario obtenido recibe el nombre de *cermet* (fusión de las dos palabras, *cerámica* y *metal*). La combinación de estas dos sustancias fue ideada para conseguir un material que reuniese las mejores cualidades de ambas.

Las cerámicas son muy resistentes y químicamente estables a altas temperaturas, pero frágiles y consecuentemente vulnerables a los golpes. Los metales, por su parte, son relativamente plásticos, tienen alta resistencia y buena conductividad térmica, pero son poco resistentes a las altas temperaturas. Uniendo estos dos materiales de forma idónea, se obtendrá un material plástico, buen conductor, resis-

tente a los golpes y a las altas temperaturas y químicamente estable: el cermet.

Historia Durante la II Guerra Mundial, los científicos buscaban un nuevo material para la cámara de alta temperatura de los motores a reacción. En Estados Unidos se investigaron combinaciones de aleaciones metálicas que demostraron un comportamiento satisfactorio. Tenían flexibilidad, conductividad y gran resistencia inicial; pero todas ellas carecían de suficiente resistencia a temperaturas muy elevadas. Los científicos alemanes usaron, con resultados prometedores, cermet-óxido metálico como sustitutivo de aleaciones críticas.

Después de la guerra, los investigadores norteamericanos decidieron aprovechar el alto punto de fusión y la estabilidad química (resistencia a la oxidación) de los materiales de cerámica para per-

a través del retículo poroso de una cerámica refractaria (resistente al calor), mejorando así su resistencia. Son también producidos de esta manera los *cermets de fases estratificadas*, con metal en la superficie y cerámica en el centro.

Los *cermets reforzados con fibras* tienen una matriz metálica armada con fibras de cerámica (para aumentar la resistencia a las altas temperaturas) o bien una matriz cerámica armada con fibras metálicas (para una mejor conductividad térmica).

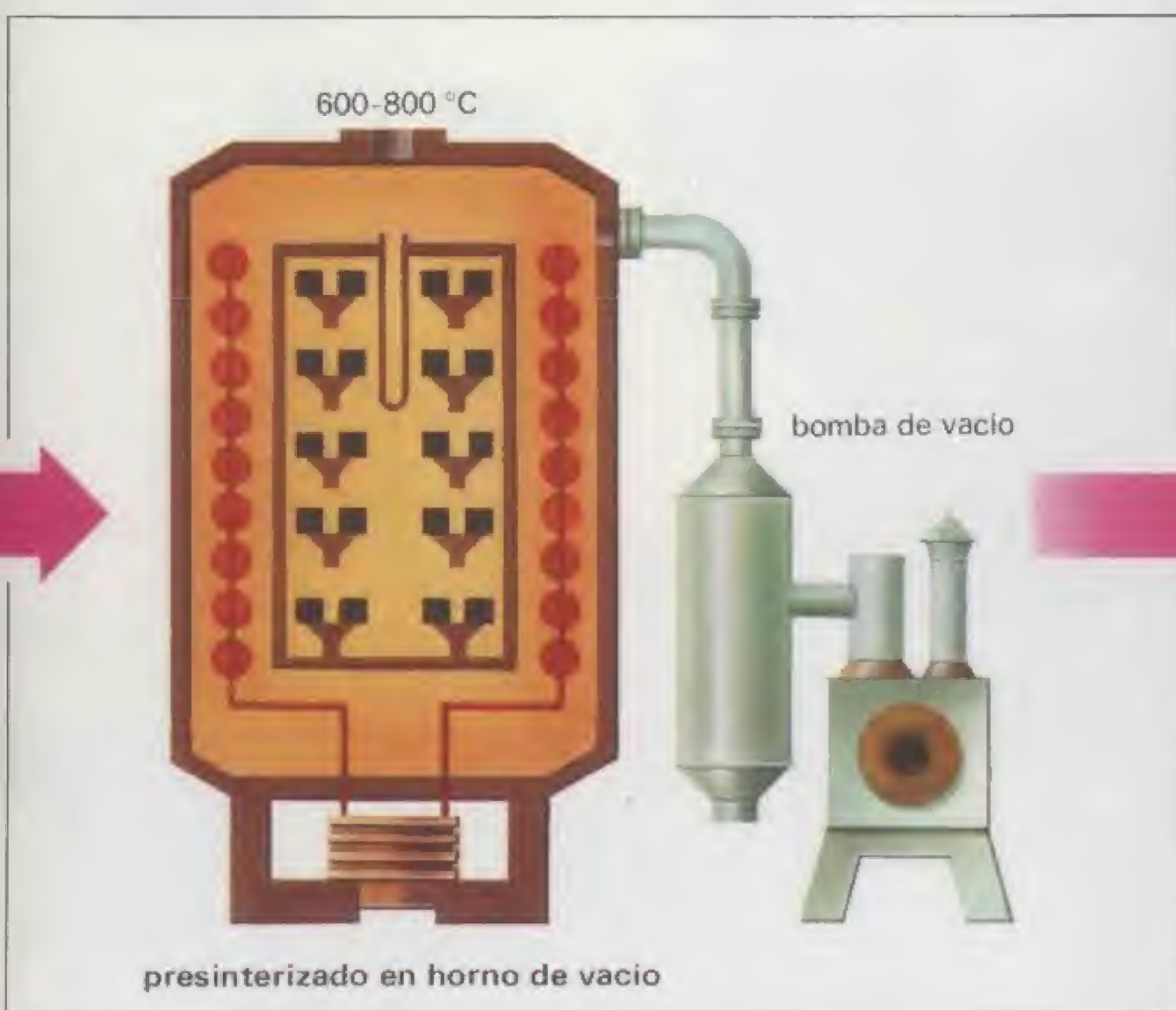
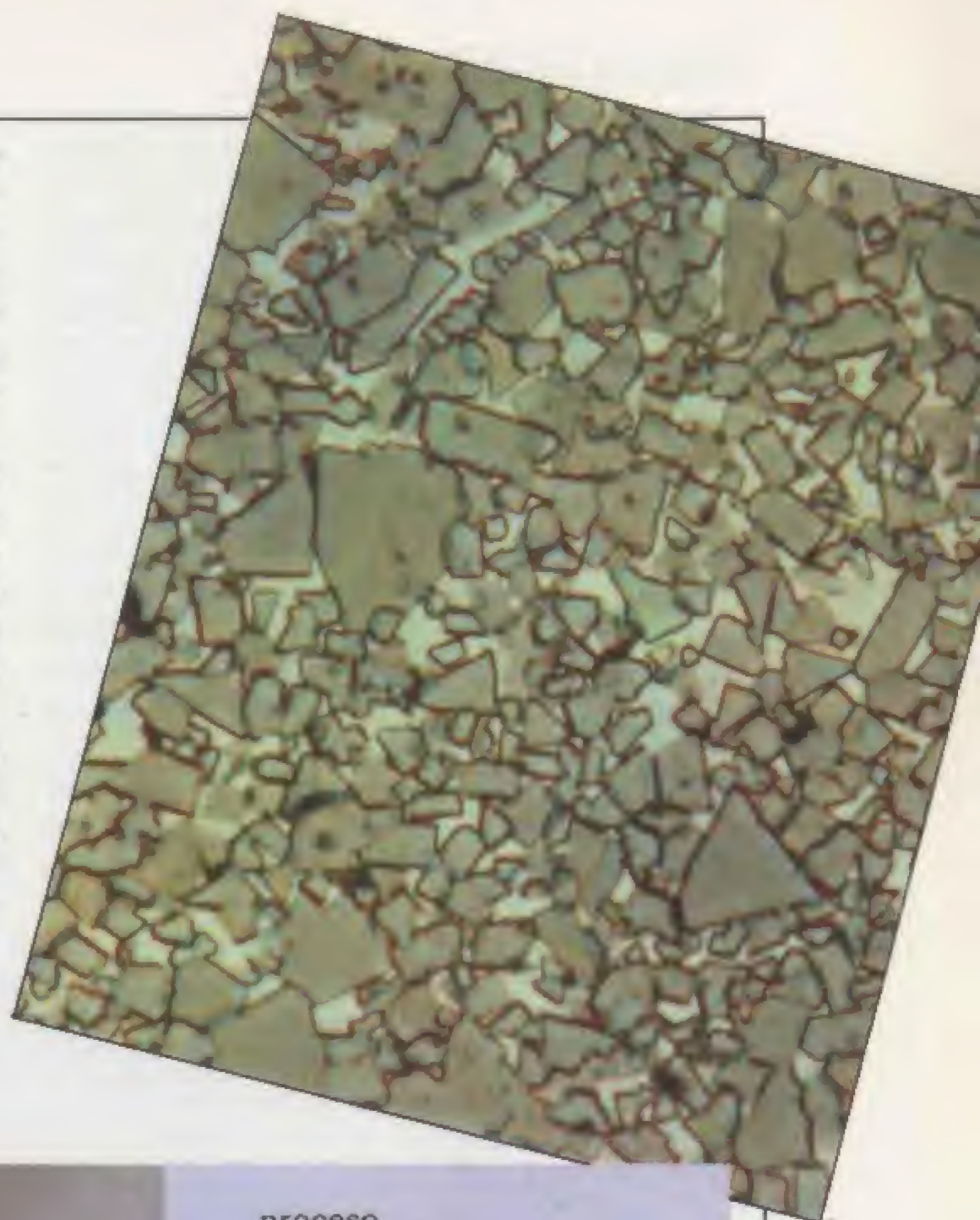
Aplicaciones Desde que se desarrollaron los cermets, la utilización de nuevos materiales componentes ha ampliado notablemente el campo de aplicación de los mismos. Los carburos de níquel y titanio han sido los materiales estudiados principalmente para ser usados en motores de propulsión a chorro. Hoy, el carburo de titanio, combinado con gran cantidad de

metales, es utilizado en la fabricación de elementos mecánicos, con coeficientes de rozamiento reducidos gracias a la extrema dureza de las superficies talladas, y en la elaboración de piezas para máquinas cortantes y taladros.

El cromo aleado con alúmina (óxido de aluminio), resistente a los choques térmicos y a la oxidación a alta temperatura, es utilizado en la fabricación de estabilizadores de llama y toberas, de canales de colada para cobre fundido, de cierres mecánicos, de tuberías de protección de pares termoelectrónicos en atmósferas corrosivas, de sondas termométricas para metales fundidos, etc. Aluminio y bióxido de uranio forman un material usado como elemento combustible en los reactores nucleares. Los cermets compuestos de óxido de circonio-titanio se utilizan para elaborar barras de control y como material para contenedores en instalaciones nucleares. Cermets a base de sílice (bióxido de silicio), arcillas de millita y cianita, muy

óxidos metálicos resisten la corrosión y la oxidación porque son químicamente estables. Pero esta estabilidad elevada impide las reacciones entre los átomos del metal y del elemento cerámico, lo que hace difícil ligar los componentes. Por último, aunque los cermets tengan muchas aplicaciones alternativas, no han satisfecho todavía el requerimiento para el que fueron desarrollados, es decir, como componentes de las turbinas de los motores de propulsión a chorro. Estas partes del motor de propulsión a chorro deben ser resistentes a la corrosión, a las altas temperaturas, a los choques térmicos y a las deformaciones. Los cermets están todavía muy lejos de satisfacer siquiera tres de estas cuatro especificaciones; mientras tanto, a base de níquel han sido desarrolladas superaleaciones de cristalización controlada, más eficaces.

Véase **Cerámica; Metales, trabajo de los; Metalurgia**

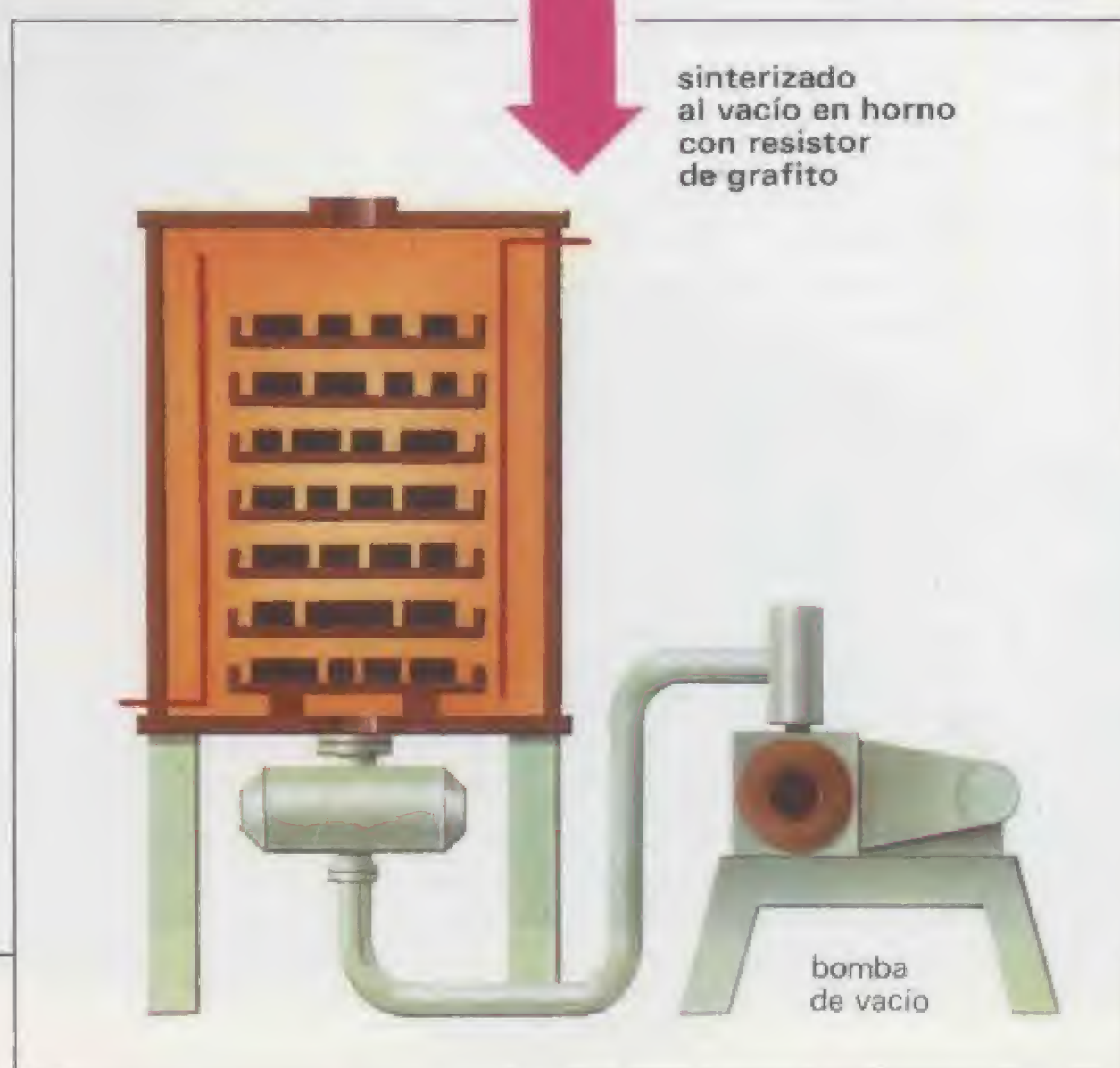


resistentes al rozamiento, son utilizados para revestimiento de zonas de fricción (de los frenos) en aeronáutica.

Inconvenientes Aunque combinen muchas de las mejores cualidades de los metales y de las cerámicas, los cermets poseen también una mezcla de los inconvenientes de esos componentes. Los cermets se retraen cuando son tratados en caliente, lo que hace muy difícil el modelado de piezas de precisión; además, pueden ser frágiles a pesar de la influencia moderadora del componente metálico. Asimismo, su producción resulta costosa, debido a la alta temperatura necesaria en el proceso de sinterización.

A menudo una buena resistencia en un campo puede representar una debilidad en otro; por ejemplo, la dureza de un cermet puede hacer muy dificultosa su fabricación y acabado. Los cermets a base de

La papilla prensada es transformada en un presinterizado por medio de su calentamiento en un horno de atmósfera controlada o de vacío. Este tratamiento confiere al material una dureza suficiente para permitir un sucesivo moldeado, pero no todavía la gran dureza final. Arriba, a la derecha, el proceso de presinterizado y, aquí al lado, la sinterización, que es también efectuada en horno de vacío o en atmósfera neutra. El control final del material resultante se efectúa mediante examen al microscopio (arriba, a la derecha, 1.500 aumentos).



Metalurgia

Imaginemos lo que ocurre en el interior de la turbina de un avión a reacción. Se expulsan gases muy reactivos a presiones y temperaturas muy elevadas. Evidentemente, los materiales empleados para construir dichas turbinas tienen que tener una notable resistencia. Muchas partes de las turbinas de los aviones a reacción se construyen utilizando superaleaciones especiales a base de níquel y cromo. Estas superaleaciones no existen en la Naturaleza, sino que han de ser elaboradas para luego utilizarlas en sectores específicos. La producción de las superaleaciones representa sólo un aspecto de la metalurgia. En general, la *metalurgia* comprende una extensa gama de teorías científicas y de tecnologías que permite extraer los minerales de los yacimientos y

aceite mineral y un producto espumante. Se hace luego burbujear aire a través de la suspensión, de forma que aparezca espuma. El aceite moja la mena, que se adhiere a la espuma y sube a la superficie, quedando la ganga por debajo.

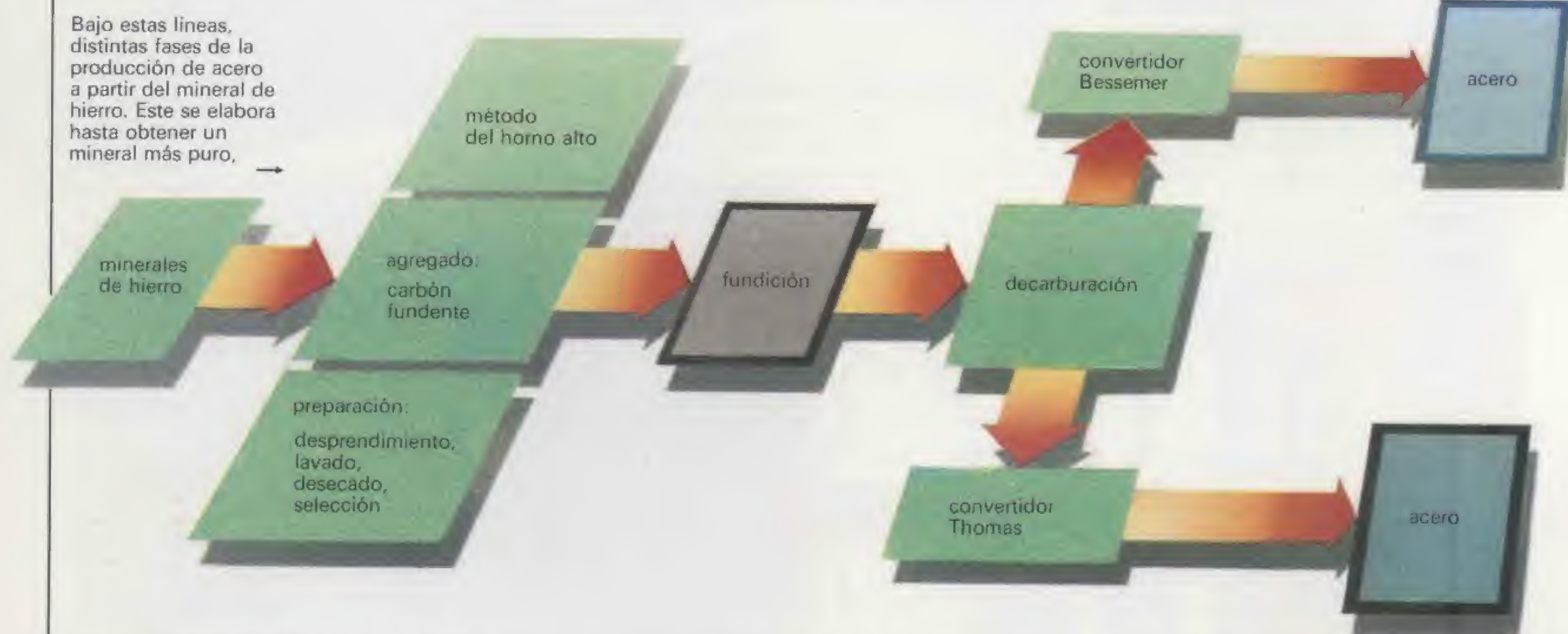
En algunos casos se emplean complicados métodos que incluyen incluso la separación magnética en baños químicos.

Extracción Una vez separado el mineral de la ganga, es necesario extraer los metales de los minerales. Las técnicas más empleadas pertenecen a la categoría de los procesos pirometalúrgicos, es decir, basados en el empleo del calor. En las elaboraciones pirometalúrgicas los minerales no sólo se funden, sino que primero se someten a un proceso de tostación que

del horno a través de dos orificios, o piqueras, practicados en las paredes del crisol.

El metal fundido, llamado *fundición de primera fusión* o *arrabio*, se vacía y solidifica en lingoteras o bien se vierte en calderos de colada para transformarlo en acero. Esta transformación se lleva a cabo en los convertidores, con su característica forma de pera, en los que se obtiene el acero eliminando las impurezas del arrabio y añadiendo luego las cantidades adecuadas de manganeso, carbono y otros minerales.

El acero también se puede producir en los hornos eléctricos o en los hornos Martin-Siemens, cargándolos respectivamente con chatarra o con minerales de hierro y chatarra. En los hornos eléctricos se pue-



elaborarlos para obtener el metal acabado, listo para trabajarlo.

La concentración de la mena Los metales casi nunca se presentan en estado libre en la Naturaleza. Generalmente forman parte de compuestos complejos, en combinación con otros elementos. Estos compuestos constituyen la enorme variedad de minerales contenidos en los yacimientos metalíferos. Los métodos de extracción permiten obtener el metal bruto o *mena* separándolo de la parte no metalífera (llamada *ganga*). Esta elaboración se conoce como *concentración de la mena*. La primera fase de la separación consiste en triturar el metal bruto; a continuación, se procede a la separación y concentración del mineral: esta fase recibe el nombre de *enriquecimiento*.

Cuando las partículas del mineral y de la ganga tienen densidades distintas, se pueden separar por gravedad. El mineral bruto se introduce en agua —unas veces en movimiento y otras en calma—, depositándose las partículas en distintos niveles según su peso específico.

El método de flotación consiste en reducir la mena a polvo muy fino y después mezclarlo con agua que contiene algún

origina una serie de transformaciones químicas en el sistema.

La fundición se produce normalmente en un horno alto; éste tiene forma de torre tronco-cónica que se carga por la boca, situada en la parte superior. La carga está formada por mineral de hierro, coque metalúrgico (que desempeña la función de combustible y de reductor) y fundente (que tiene la misión de formar la escoria fusible, que flota sobre el metal fundido y lo preserva de la oxidación).

El aire caliente, que se insufla desde abajo a través de las toberas y que encuentra la carga en contracorriente, activa las reacciones que se producen en el horno alto. La carga, a medida que va descendiendo desde arriba, pasa a través de las distintas zonas de la torre —que están a diferentes temperaturas— y sufre varios procesos, como son el desecado (en la zona más alta), la reducción indirecta de los óxidos de hierro del mineral, la reducción directa de los mismos y, finalmente, la fusión.

En la parte más baja del horno, o *crisol*, se recogen los últimos materiales que produce el horno alto, es decir, el hierro fundido y la escoria, que, como se sabe, evita la oxidación. Estos materiales se extraen

den alcanzar temperaturas muy elevadas, lo que permite obtener aceros especiales de alto punto de fusión.

Al final de los distintos procesos de producción, el acero líquido se vuelca en una cuba o crisol desde donde posteriormente se trasvasa a las lingoteras, para la producción de lingotes, o se utiliza para alimentar el proceso de colada continua.

Este último sistema de colar el acero, actualmente muy utilizado, se realiza mediante la instalación de una bandeja donde se recibe directamente el acero procedente de la cuba. La bandeja se encuentra situada sobre la lingotera y su función consiste en regular el flujo de acero hacia ésta, donde, mediante un sistema de refrigeración con agua, se inicia la solidificación. Esta se completa después en una zona de enfriamiento secundario, situada bajo la lingotera, donde el producto de la colada continua se rocía con agua a presión mientras va pasando sobre un tren de rodillos móviles.

Aleaciones Los metales así obtenidos, mediante distintas técnicas, están ya preparados para ser sometidos a sucesivas elaboraciones. Sin embargo, pocos metales se pueden emplear directamente

para todos los usos, ya que generalmente son demasiado blandos, frágiles o no poseen determinadas características (como, por ejemplo, la resistencia a las altas temperaturas). Para paliar estas carencias, los metales se combinan con pequeñas cantidades de otros materiales, generalmente otros metales, obteniéndose las *aleaciones*. La adición de agentes de aleación al metal-base modifica las características de éste en el sentido deseado (por ejemplo, mejorando notablemente la resistencia a la corrosión o su maleabilidad).

Las aleaciones constituyen uno de los sectores más importantes de la metalurgia. Continuamente se están poniendo a punto y experimentando nuevas aleaciones capaces de satisfacer requisitos técnicos cada vez más avanzados. Las super-

aleaciones a base de níquel representan uno de los mayores progresos en este campo. Mientras que las aleaciones contienen generalmente un máximo de tres o cuatro componentes, las superaleaciones pueden llegar a contener hasta diez; estos se combinan según relaciones másicas muy precisas y cada uno aporta a la superaleación una característica específica final.

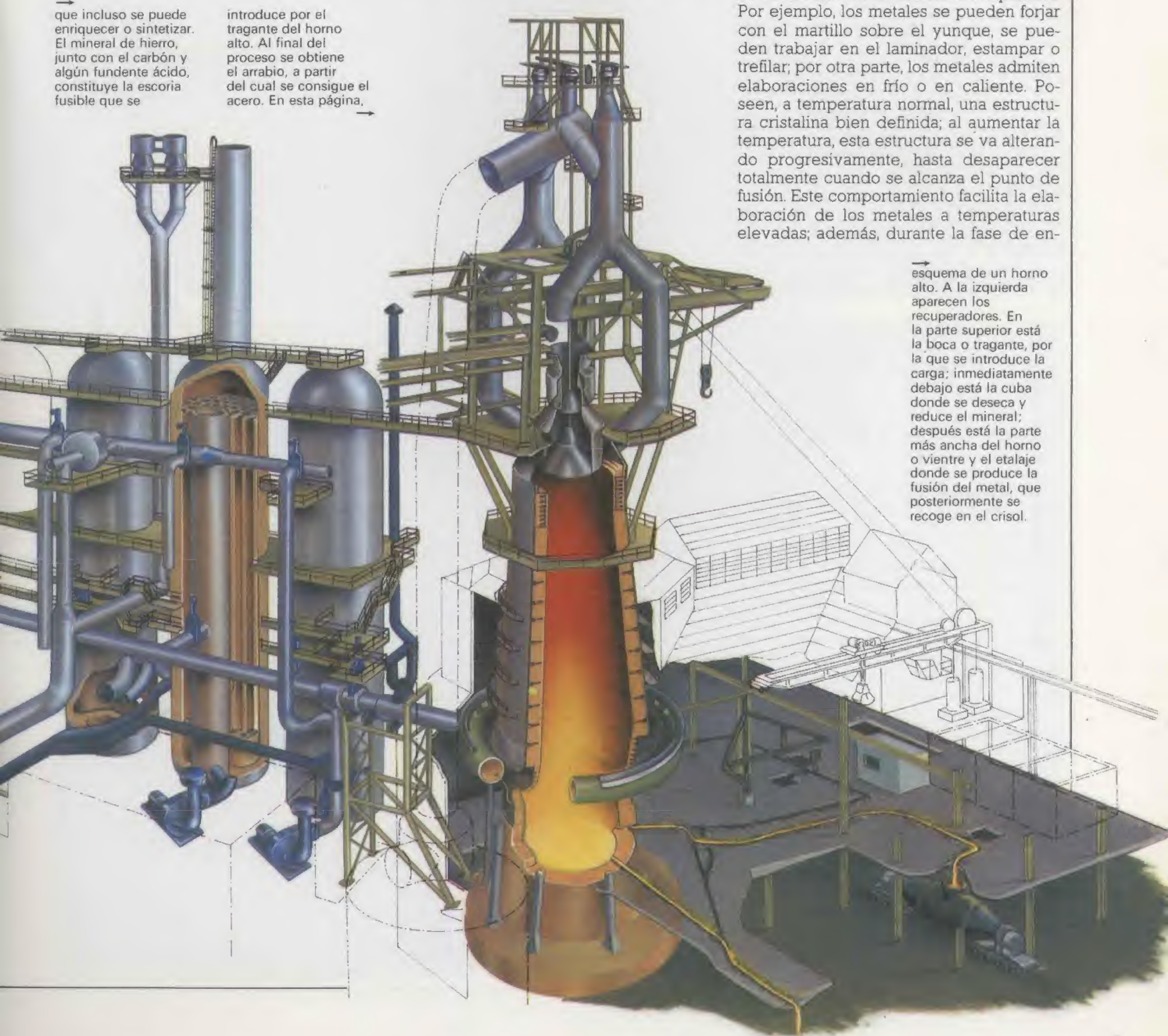
La elaboración de los metales Una vez puesta a punto una determinada aleación apta para una aplicación específica, es necesario forjar con ella la manufactura en la forma deseada. La técnica de trabajo de los metales es muy importante, ya que determinadas técnicas permiten obtener piezas acabadas con características

mecánicas mejoradas. Los procesos básicos de elaboración de los metales son dos. El primero comprende la fusión y el moldeado, que normalmente se realiza introduciendo en un molde el metal fundido. Posteriormente, y una vez solidificado, el metal se extrae del molde. Algunos metales de punto de fusión alto no pueden fundirse y moldearse fácilmente. En estos casos los metales se preparan previamente en forma de polvo. Este se coloca en el molde y se somete a un intenso calentamiento y a altas presiones. En este caso el metal no se funde, sino que pasa por un proceso llamado *sinterización* gracias al cual las partículas se sueldan formando una masa homogénea.

El segundo proceso para lograr que una pieza metálica tome la forma deseada es el basado en la deformación plástica. Por ejemplo, los metales se pueden forjar con el martillo sobre el yunque, se pueden trabajar en el laminador, estampar o trefilar; por otra parte, los metales admiten elaboraciones en frío o en caliente. Poseen, a temperatura normal, una estructura cristalina bien definida; al aumentar la temperatura, esta estructura se va alterando progresivamente, hasta desaparecer totalmente cuando se alcanza el punto de fusión. Este comportamiento facilita la elaboración de los metales a temperaturas elevadas; además, durante la fase de en-

→ que incluso se puede enriquecer o sintetizar. El mineral de hierro, junto con el carbón y algún fundente ácido, constituye la escoria fusible que se

introduce por el tragante del horno alto. Al final del proceso se obtiene el arrabio, a partir del cual se consigue el acero. En esta página, →



→ esquema de un horno alto. A la izquierda aparecen los recuperadores. En la parte superior está la boca o tragante, por la que se introduce la carga; inmediatamente debajo está la cuba donde se deseca y reduce el mineral; después está la parte más ancha del horno o vientre y el etalaje donde se produce la fusión del metal, que posteriormente se recoge en el crisol.

En esta página, algunos de los productos finales de la industria siderúrgica. Empezando por la izquierda, tenemos: la

↓
palanquilla, de 40 x 120 mm de lado; el lingote, de 130 x 400 mm de lado; el tocho, de hasta 400 mm; la bobina en caliente (*coil*); tubos de pared ancha y delgada; planchas planas, en grecas y onduladas; perfiles en L, en C, en T invertida, en I y, finalmente, tubos de varias secciones. A partir de estos elementos en bruto se obtendrán productos acabados mediante elaboraciones sucesivas.

Enfriamiento se pueden formar estructuras cristalinas distintas, que proporcionan al material características que no tenía antes del tratamiento. En cambio, durante la elaboración en frío se produce una rotura parcial y, simultáneamente, una reordenación de la estructura cristalina.

En ambos casos, las alteraciones inducidas en la estructura cristalina pueden proporcionar al metal una mayor resistencia mecánica.

En el caso de la elaboración en caliente, los metales se someten a tratamientos térmicos con un estricto control de las condiciones en que se verifican, tanto en la fase de calentamiento como en la de enfriamiento, para obtener los mejores resultados posibles en las variaciones de la estructura cristalina. Los tratamientos de enfriamiento adquieren distintas denominaciones según la velocidad con que se realicen: si el enfriamiento es lento, se llama *recocido*; si es rápido, se llama *normalizado*; y si es muy rápido, *temple*.

Bases físicas de la metalurgia Desde hace milenios se sabe que la elaboración en frío de un metal aumenta sus características mecánicas; pero la razón de este fenómeno no se comprendió hasta 1890 aproximadamente, como consecuencia de los profundos conocimientos adquiridos sobre la estructura cristalina. En realidad, todos los procesos metalúrgicos se pueden interpretar en base a la estructura microcristalina. El estudio de esta estructura requiere de otras ramas de la ciencia, como la Química, la Física y la Termodinámica. Para estudiar la estructura de los metales se recurre principalmente a dos técnicas: la primera se basa en la utilización de los *diagramas de fase*, que muestran cuál es la estructura cristalina ideal para una composición dada y a una temperatura determinada. Estos diagramas sirven fundamentalmente para la comprensión de las características y comportamientos de las aleaciones a distintas temperaturas.

La segunda técnica, llamada *metalografía*, consiste en la observación directa de la estructura cristalina del metal. Esta observación se puede realizar con medios ópticos, como el microscopio, o bien mediante técnicas especiales que utilizan los rayos X. Las muestras o "probetas" a examinar se pulen cuidadosamente y se someten a la acción de ácidos que, en condiciones de iluminación especiales, resaltan la geometría de los cristales y evidencian su estructura cristalina.

En cada fase cristalina puede variar la resistencia a la corrosión de un metal dado, así como también su comportamiento mecánico y su capacidad de resistencia ante un determinado esfuerzo.

Véase Acero; Aleación; Cristales y Cristalografía; Fundición y colada; Metales; Metales, trabajo de los; Minería y técnicas mineras



AFL Falck, Dongo

Algunos aspectos de las distintas fases y de las diferentes elaboraciones metalúrgicas. Arriba, a la izquierda, crisol que contiene acero fundido para alimentar una instalación de colada continua. El metal



fundido se introduce en un molde, de cuyo fondo sale ya enfriado en forma de lingote para luego formar las planchas. A la derecha, planta de refrigeración de los redondos procedentes de la colada continua,

de los que se obtiene, mediante laminación, el tubo sin soldadura. Abajo, a la izquierda, colada de fundición en lingotes. A la derecha, preparación de las abrazaderas para la colada de la fundición y para producir juntas.

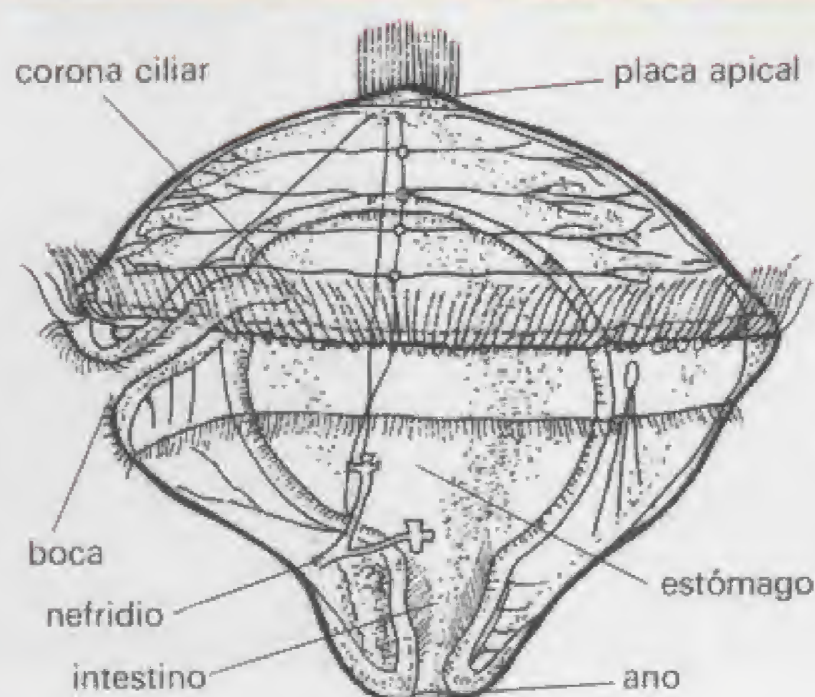
Metamorfosis

En Zoología, se llama *metamorfosis* a la transformación de las formas larvares en el animal adulto, sexualmente maduro. Este tipo de desarrollo está muy difundido entre los anfibios, insectos, crustáceos y otros grupos menos conocidos, como las ascidias, apreciándose en los insectos mejor que en ningún otro grupo. La transformación suele implicar determinadas variaciones morfológicas y funcionales, así como un cambio en el hábitat y la alimentación. Una oruga, por ejemplo, se alimenta de hojas, pero cuando se convierte en mariposa la estructura de su boca cambia y sólo es adecuada para chupar el néctar de las flores. En cambio, hay algunos animales, como ciertos crustáceos, que experimentan la metamorfosis sin cambios aparentes en su aspecto o costumbres alimentarias; su transformación consiste simplemente en mudar el esqueleto externo por otro mayor, a medida que aumentan de tamaño.

Fases de la metamorfosis El número de fases que atraviesa un animal que sufre metamorfosis desde su estado de larva al estado adulto varía según el tipo de metamorfosis. En la *metamorfosis completa*, los insectos pasan por cuatro fases de desarrollo: huevo, larva, pupa o crisálida y adulto o imago. De los huevos salen las larvas en forma de gusano segmentado (orugas); éstas carecen de alas y de ojos compuestos, y suelen tener un número considerable de falsas patas y un aparato

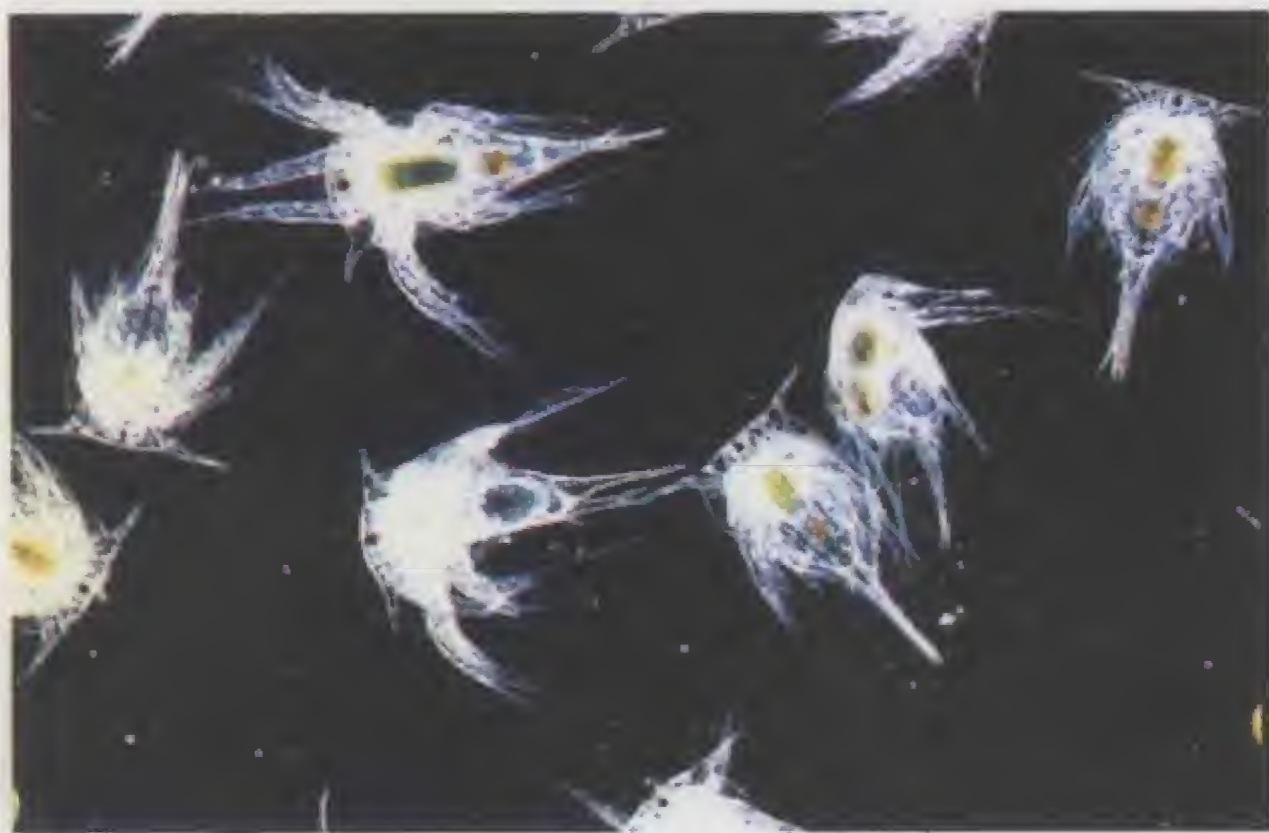


Con el término *metamorfosis* se indica el conjunto de fenómenos y procesos que tiene lugar en la transformación de un organismo desde la fase larvaria a la adulta. Los cambios son evidentes no sólo desde el punto de vista morfológico, sino también en cuanto a las actividades funcionales y a las condiciones de vida (las metamorfosis más típicas son las de los anfibios). Aquí, a la izquierda, un anélido poliqueto tubícola en la fase adulta, sobre una concha; debajo, su fase larvaria (llamada trocófora o larva de Loven).



(moscas de mayo). Estos animales ponen en el agua los huevos, que al desarrollarse dan ninfas acuáticas, adaptadas a este medio por las branquias traqueales. Las ninfas crecen por mudas sucesivas, salen del agua y después de la última muda se transforman en adultos con alas.

En el caso de los saltamontes, grillos, cucarachas, etc., se produce una *metamorfosis gradual*. En este tipo, el individuo recién salido del huevo tiene el mismo aspecto que el adulto, pero carece de alas y de órganos para la reproducción. Las proporciones del cuerpo de la ninfa tam-



D.P. Wilson

bucal distinto. Las larvas consumen gran cantidad de alimento y experimentan una serie completa de mudas, para después entrar en un estado de reposo que recibe el nombre de *pupa* o *crisálida*. La pupa forma alrededor de su cuerpo un capullo, dentro del cual tiene lugar la metamorfosis final y, por último, aparece la forma adulta llamada *imago*. Este tipo de metamorfosis se da en los escarabajos, mariposas, moscas, etc., y a los insectos que la sufren se les aplica la denominación de *holometábolos*.

Las formas con *metamorfosis incompleta*, llamadas *hemimetábolos*, pasan por tres etapas de desarrollo: huevo, ninfa y adulto. Se da en las libélulas y en las efímeras

Arriba, larvas de un crustáceo cirrípedo, llamado *nauplius*; al lado, desarrollo completo del cirrípedo *Lepas*. A partir de los huevos fecundados nacen los *nauplius*, que evolucionan hacia unas formas con cascarilla, los *cypris*. Estos se apoyan en un objeto, se sujetan a él y empiezan a transformarse (1). Se forma un pedúnculo y las placas calcáreas que protegen el cuerpo, y van surgiendo los cirros (2) hasta llegar al adulto (3).



bién son distintas de las del adulto, pero tiene el mismo tipo de piezas bucales y costumbres alimentarias. La ninfa crece, para lo cual debe mudar su exoesqueleto periódicamente, pudiendo tener cinco mudas o más. Por último, cuando la ninfa desarrolla las alas, pasa al estado de adulto completo.

Algunos insectos se dice que son *ametábolos* porque no experimentan metamorfosis, si bien ésta, aunque es muy ligera, también tiene lugar. En ellos las crías salen del huevo con la forma del insecto adulto, y el desarrollo consiste simplemente en aumentar de tamaño.

Fisiología de la metamorfosis La fisiología de las mudas y metamorfosis ha sido muy estudiada en los últimos años, y se ha demostrado que estos procesos están regulados por ciertas hormonas. En la muda, células de la glándula intercerebral liberan una *hormona de la muda*, que activa la glándula protorácica. Esta es la encargada de producir la *hormona del crecimiento*, la cual pone en marcha los procesos que dan lugar a la expulsión de la piel vieja y a la proliferación de células epidérmicas nuevas.

Otra hormona, la *hormona juvenil*, es segregada por unas glándulas situadas cerca del cerebro (los *corpora allata*). Cuando esta hormona está en la sangre, de cada muda resulta una larva mayor; pero si se carece de ella, la transformación de la larva es en ninfa o en adulto. Experimentalmente se ha demostrado que las bajas temperaturas activan las células de la glándula intercerebral, lo cual desencadena la serie de procesos expuestos. Sin embargo, se desconocen aún muchos aspectos del mecanismo de regulación.

Véase **Crustáceos; Hormonas; Insectos**

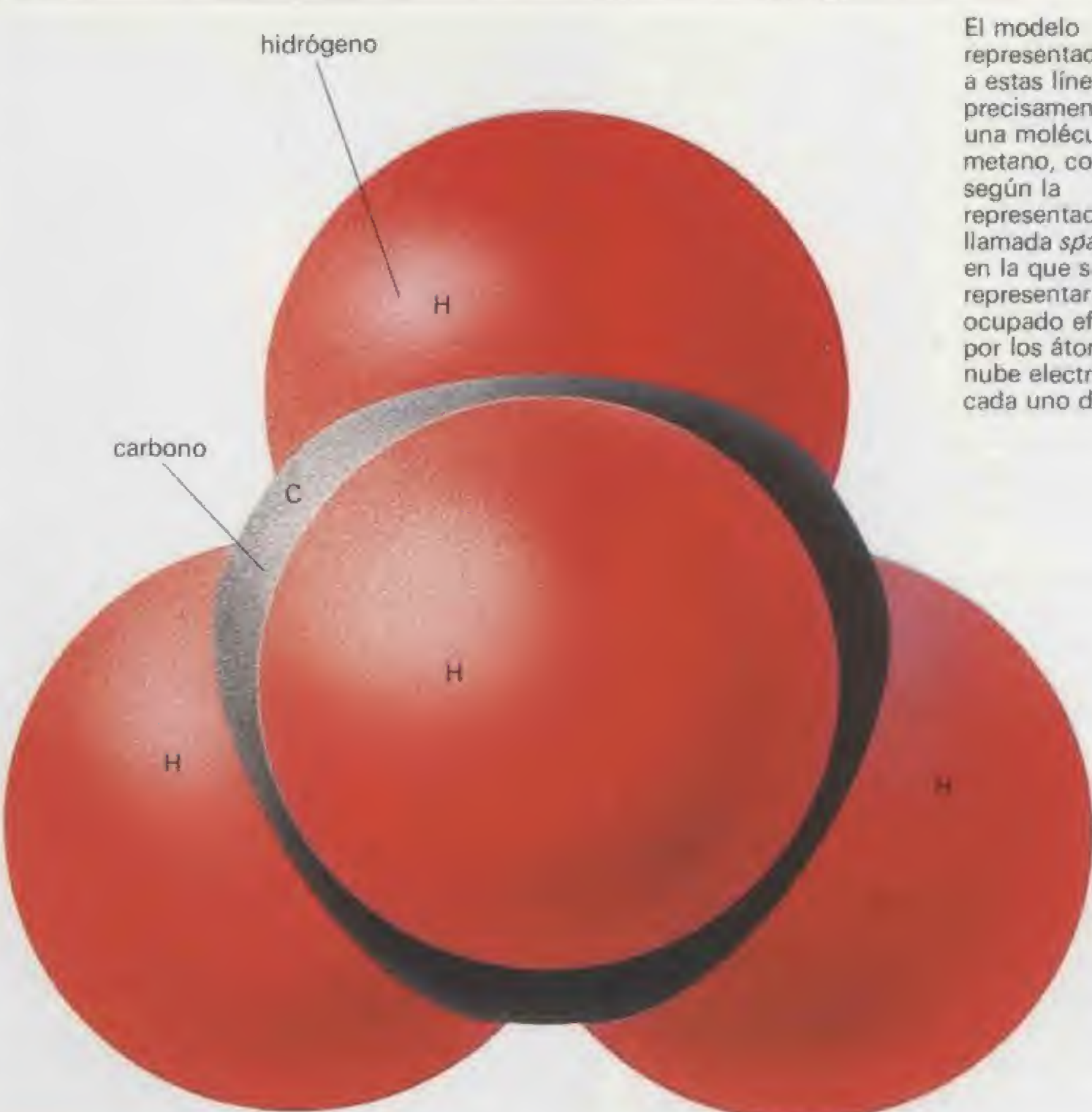
En la secuencia fotográfica junto a estas líneas vemos cómo nace una mariposa. Los Lepidópteros, insectos holometábolos, tienen un desarrollo muy complejo (metamorfosis completa). En las fotos vemos el desarrollo desde el huevo, pasando por los distintos estadios de larva y de crisálida, hasta la aparición del adulto: 1) huevo; 2) salida de la larva recién nacida; 3) primera fase larvaria; 4) tercera fase larvaria; 5) cuarta edad de la larva, mientras experimenta la muda

para pasar a la última fase; 6) larva madura de color verdoso; 7) larva madura que se está transformando en crisálida; 8) crisálida recién formada, que tiene los tegumentos todavía muy blandos; 9) salida del adulto de la parte anterior de la crisálida; 10) mariposa en condiciones de emprender el vuelo. Las larvas de las primeras fases tienen una extraña forma de caminar, debido a sus falsas patas rudimentarias, que van creciendo, y sólo a través de las sucesivas mudas llegan a ser completamente funcionales.



Metano

El metano, un gas inodoro e incoloro, es el componente principal del gas natural (en algunos casos constituye el 99% del gas natural tal y como se extrae de los yacimientos). El metano también se conoce en las minas de carbón como *grisú* o *gas de mina*, cuya concentración en la atmósfera de la mina es necesario controlar continuamente. De hecho, aunque de por sí no es venenoso, el metano puede producir la asfixia de los mineros, incluso provocar explosiones, si su concentración en el aire alcanza valores comprendidos entre el 5% y el 14%. El metano también se conoce como *gas de los pantanos* cuando su formación se desarrolla por descomposición bacteriana de la materia orgánica vegetal sumergida en agua. Se estima que el lago africano Kivú contiene alrededor de 5.600 millones de metros cúbicos de metano. En China, durante años, el gas de los pantanos se ha utilizado a pequeña escala como combustible. En los países industrializados, como Estados Unidos, extensas redes de gasoductos transportan el gas natural desde los yacimientos hasta el consumidor. Se puede almacenar o transportar en forma líquida, cuyo volumen es 1/600 del correspondiente al del producto en forma gaseosa. El metano, además de extraerse directamente de los yacimientos, se puede obtener a gran



El modelo representado junto a estas líneas es, precisamente, el de una molécula de metano, construido según la representación llamada *space filling*, en la que se intenta representar el espacio ocupado efectivamente por los átomos y por la nube electrónica de cada uno de ellos.

METANO CH ₄	hidrocarburo gaseoso punto de ebullición a -161,4 °C densidad 0,554 a 20 °C (aire = 1)
EN LA NATURALEZA	gas natural gas de las minas gas de carbonización de los combustibles
PREPARACION QUIMICA	a partir de sulfuro de carbono + hidrógeno sulfurado (catalizada por cobre metálico) a partir de óxido de carbono reducido con hidrógeno (catalizada por níquel a 250-400 °C) descomponiendo carburos metálicos con agua descomponiendo yoduro de metilmagnesio con agua
DERIVADOS DE IMPORTANCIA INDUSTRIAL	acetileno, etileno, negro de humo, metanol, formaldehído, sulfuro de carbono, clorometanos, ácido cianhídrico

El metano, que por sí solo representa alrededor del 99% de los yacimientos de gas natural, es un compuesto de gran importancia, ya sea por la posibilidad de obtener a partir de él

numerosos derivados de gran difusión industrial o bien porque constituye la cabeza de serie de toda la química de los hidrocarburos, compuestos a base de carbono e hidrógeno.

La tabla ilustra las principales propiedades del metano. Hidrocarburo gaseoso, el metano fue bautizado por Alejandro Volta como *gas de los pantanos* porque se forma en zonas pantanosas durante la putrefacción de las sustancias orgánicas. El metano

abunda en los gases naturales y en los gases de mina. La utilización del metano como materia prima es importante para la síntesis de otros compuestos, entre los que se encuentran el acetileno, el etileno, el formaldehído, el metanol, el sulfuro

de carbono, los clorometanos y el ácido cianhídrico. Otra aplicación importante es la térmica, como combustible doméstico e industrial, dado su elevado poder calorífico. También se emplea como carburante para ciertos tipos de motores de explosión.





A partir del metano se obtienen compuestos como el metanol, el formaldehído, el cloroformo y el tetracloruro de carbono. Abajo vemos una planta de producción de

derivados del metano. Sobre estas líneas, la conexión de un metanoducto y, a la derecha, un tramo del túnel suizo del Grimsel Pass, del metanoducto que une Italia y Holanda.



escala mediante varios procesos industriales. Por ejemplo, mediante la destilación seca de la hulla en cámaras cerradas a temperaturas superiores a 1.000 °C se obtiene el *gas del alumbrado*, así llamado por haber sido utilizado desde el siglo pasado hasta hace algunos años en el alumbrado público. Este gas está constituido principalmente por hidrógeno (49%), metano (36%), monóxido de carbono (8%) y otros gases de menor importancia. También se obtiene un gas rico en metano tratando las aguas residuales según un proceso llamado *de fangos activos*.

El metano se emplea en la industria química para producir muchos derivados útiles, como el metanol, el formaldehído, el cloroformo y el tetracloruro de carbono. También se emplea en la producción de fluidos refrigerantes y aerosoles. Además, los motores (incluidos los de los automóviles) se pueden alimentar con gas natural, más económico que la gasolina y que también presenta la ventaja de provocar una menor contaminación atmosférica si se quema en las condiciones adecuadas.

La química del metano El metano es el primero y el más simple de una serie de compuestos muy útiles a base de carbono e hidrógeno, llamados *alcanos* o *hidrocarburos parafínicos*. El metano está constituido por un único átomo de carbono unido a cuatro átomos de hidrógeno mediante enlaces covalentes.

Los otros miembros de la serie de los alcanos —cada uno con un átomo de carbono y dos átomos de hidrógeno más que el miembro precedente— son: el *etano*, el *propano*, el *butano*, el *pentano*, el *hexano*,

el *heptano*, el *octano*, etc., empleando para cada miembro el correspondiente prefijo griego que indica el número de átomos de carbono contenido en la molécula. La *serie de los alquenos*, estrechamente ligada a la de los alcanos, está caracterizada por el hecho de que un par de átomos de carbono está unido por un doble enlace; por lo tanto, la molécula contiene un número inferior de átomos de hidrógeno. La nomenclatura de estos compuestos sigue unas reglas análogas a las de la serie de los alcanos; es decir, partiendo de la molécula más pequeña que contiene dos átomos de carbono, se tienen, respectivamente, el *eteno*, el *propeno*, el *buteno*, etc. Dichos compuestos también se conocen con la denominación más común de *etileno*, *propileno* y *butileno*. Existe una tercera serie, llamada *de los alquinos*, caracterizada por el hecho de que un par de átomos de carbono está unido por un triple enlace. El miembro más conocido de esta serie es el *acetileno*, que según nuestra nomenclatura oficial se denomina *etino*. Los siguientes de la serie son el *propino*, *butino*, *pentino*, etcétera.

Todos estos compuestos se pueden considerar como desarrollos de la molécula de base del metano, por lo que se puede decir que toda la química de los hidrocarburos empieza en dicha molécula. En la química del metano, las sustituciones se refieren a los átomos de hidrógeno. Estos átomos se pueden sustituir por otros átomos individuales, como el cloro o el flúor, o bien por distintos grupos, lo que da una idea de las enormes posibilidades de formación de nuevas moléculas.

Véase **Hidrocarburos; Química orgánica**

Meteoritos

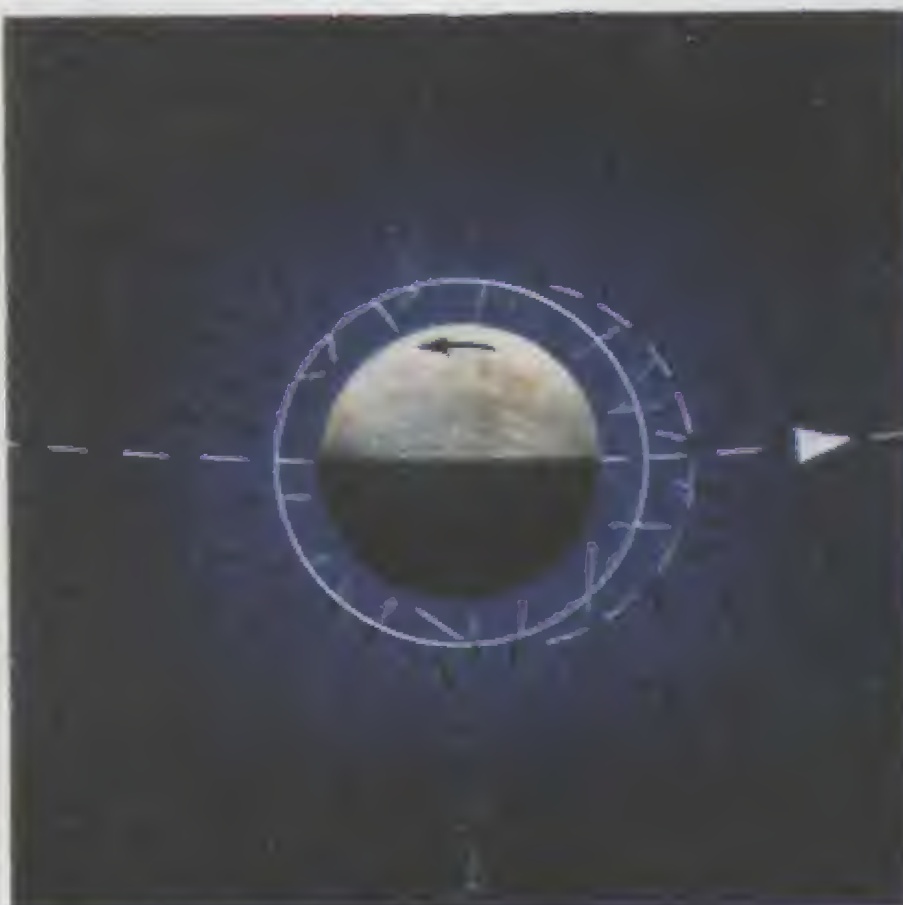
El 25 de noviembre de 1833, un corresponsal del *Connecticut Observer* escribía: "Entendemos en la lluvia de fuego que hemos visto el miércoles por la mañana (...) un presagio misericordioso del terrible día en que el sexto sello será abierto." Se describía de esta forma la gran lluvia de meteoritos que se produjo en aquella fecha, con una clara referencia a la *Biblia* (Revelación 6.13): "Y las estrellas del paraíso cayeron sobre la tierra, del mismo modo en que una higuera pierde prematuramente sus frutos al ser sacudida por un fuerte viento." Según la opinión general, la lluvia, visible desde una vasta área de Estados Unidos, fue un espectáculo aterrador que sembró el pánico entre la población. Semejaba una lluvia de estrellas y fuego que iluminó el cielo durante horas. No hubo ningún herido, y ningún meteorito llegó a alcanzar la superficie terrestre: todos se desintegraron al entrar en la atmósfera.

Lluvia de estrellas y meteoritos Los meteoritos son cuerpos sólidos que alcanzan la Tierra procedentes del espacio. Pueden tener dimensiones muy reducidas (algunas micras) o incluso llegar a ser gigantes.

Al penetrar en las capas altas de la atmósfera, los de pequeño tamaño se desintegran antes de alcanzar la superficie terrestre. En este caso el fenómeno recibe el nombre de *estrellas fugaces*; aunque no se trate en absoluto de estrellas, efectivamente, algunos de ellos al pasar muy cerca de la Tierra han mostrado una luminosidad excepcional, incluso mayor que la de las estrellas más luminosas. A menudo se les ha visto arder, dejando tras de sí una brillante estela de polvo incandescente, que puede permanecer durante varios segundos e incluso minutos. La estela de una estrella fugaz, vista durante el día, aparece por el contrario como una nube de polvo oscuro.

Los meteoritos contienen hielo y pequeños trozos de roca o arena. Generalmente se desintegran en la atmósfera, a una altura de 90-105 km por encima de la superficie terrestre, debido a la elevada velocidad a la que viajan a través del espacio (entre 32 y 56 kilómetros por segundo). Cuando penetran en la atmósfera, aunque se trate de meteoritos muy pequeños, el rozamiento con el aire hace que se quemen casi totalmente. A pesar de su gran velocidad, ningún meteorito ha conseguido escapar nunca de la atracción gravitacional del Sistema Solar. Este fenómeno ha inducido a los científicos a pensar que todos los meteoritos son generados por el Sistema Solar, dentro del cual permanecen atrapados.

Sólo un número muy bajo de meteoritos consigue atravesar la atmósfera y alcanzar la superficie terrestre. Cuando esto sucede, a los fragmentos rocosos que alcanzan la superficie terrestre se les denomina *aerolitos* o *bóolidos*. Naturalmente, el polvo resultante de la combustión meteorítica en la atmósfera consigue, al final,



Si se observa la dirección de la que procede un meteorito y después la dirección de procedencia de otros que caigan durante la misma noche, se puede comprobar cómo

parecen surgir de una misma parte del cielo, es decir, de un mismo punto, que recibe el nombre de *radiante*. Arriba, el radiante de los meteoritos procedentes de la constelación de Perseo



(con un máximo de intensidad el 12 de agosto), que reciben el nombre de *Perseides*. Debajo, a la derecha, aspecto de un radiante durante la noche, a la izquierda, la explicación del hecho

sorprendente de que las lluvias de estrellas durante la mañana, y debido al movimiento de la Tierra, sean más numerosas y más veloces que durante la noche.

precipitar, alcanzando la superficie terrestre. Se calcula que, anualmente, un promedio de 200.000 toneladas de polvo meteorítico cae sobre la Tierra. Debido a su desintegración en la atmósfera, la investigación en laboratorio del material meteorítico resulta prácticamente imposible. Sin embargo, el examen del espectro luminoso que producen los meteoritos al arder nos permite establecer la cantidad de hielo contenido en los mismos, así como la naturaleza de sus otros componentes. Los meteoritos pueden clasificarse en: pétreos o condriticos (de piedra rica en silicio) y metálicos o sideríticos (compuestos casi exclusivamente por hierro).

Existe una clara conexión entre meteoritos y cometas: ambos viajan a lo largo del mismo tipo de órbita; las órbitas de algunos meteoritos son idénticas a las de antiguos cometas; al igual que los cometas, también de los meteoritos se desprenden fragmentos, polvo y granos que permanecen gravitando a lo largo de la amplia estela que dejan a su paso. Si la Tierra, en su movimiento, pasa a través de una de estas órbitas, dichos fragmentos aparecen en el cielo convirtiéndose en una lluvia de meteoritos. Algunos de ellos son muy antiguos y su origen se remonta

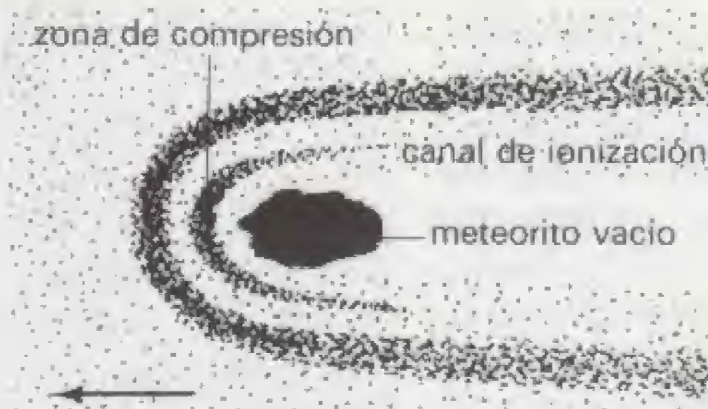
al tiempo en que el Sistema Solar era solamente una enorme nube de polvo y gas. En un momento determinado esta nube colapsó debido a su propia gravedad, y se formaron el Sol, los planetas y los satélites; gran cantidad del polvo original, en forma de meteoritos, cayó sobre ellos. La Luna, Marte y Mercurio, por ejemplo, deben el aspecto "agujereado" de su superficie precisamente a la caída de meteoritos de muy diverso tamaño. El campo gravitacional de los planetas capturó la mayor parte del polvo restante, aunque una gran cantidad permaneció libre. Algunos de estos meteoritos son, precisamente, los restos de aquella nube inicial de polvo, cuya edad se remonta a casi 4.600 millones de años.

Observación de los meteoritos Los meteoritos constituyen un fenómeno que se observa raras veces y siempre de forma casual. Cuando se observan aislados, reciben el nombre de *esporádicos*. Se calcula que la Tierra intercepta anualmente casi diez billones de meteoritos. Si una persona contempla un cielo despejado desde la puesta del Sol hasta el amanecer, podrá ver casi con toda seguridad al menos uno esporádico. Anualmente se regis-

tran algunas lluvias de meteoritos, que se repiten de forma periódica. Las más conocidas son: las Cuadrantidas, que aparecen del 2 al 5 de enero en una proporción de aproximadamente 110 a la hora; las Perseides, que caen en una proporción de unas 65 a la hora entre el 1 y el 25 de agosto; las Gemínidas, que pueden verse del 10 al 16 de diciembre en una proporción de aproximadamente 55 a la hora.

Véase **Sistema Solar**

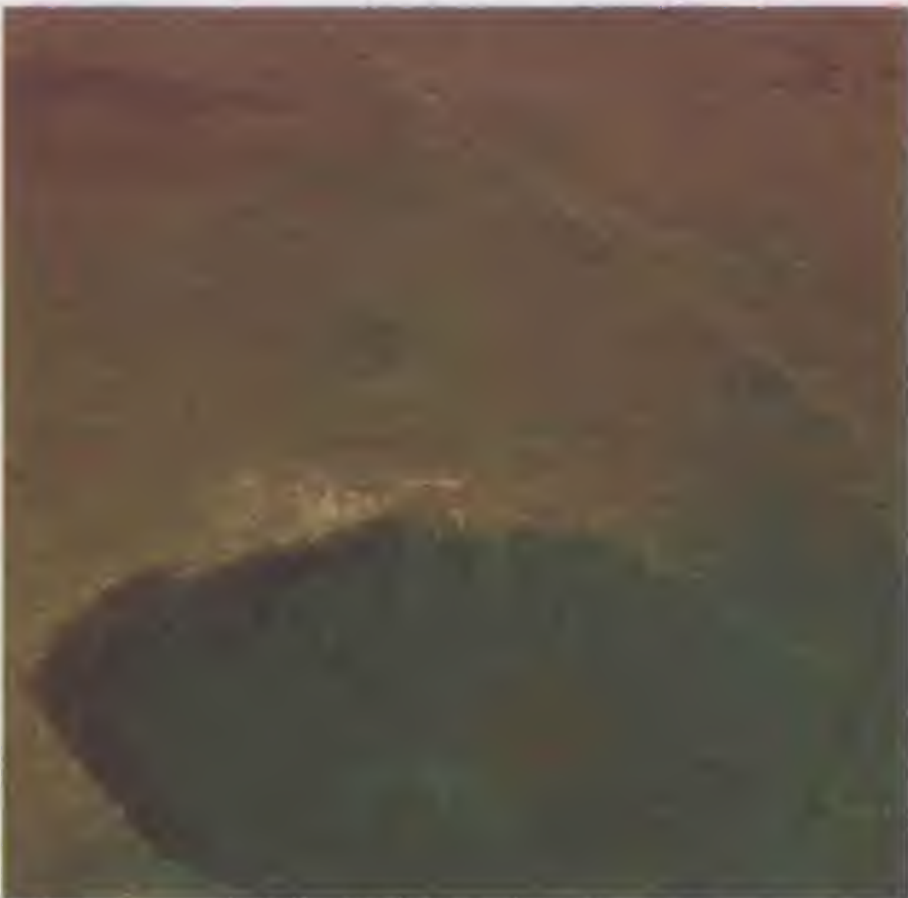
A la derecha, un cometa que suele ser origen de fenómenos meteoríticos. G.V. Schiaparelli observó que las estrellas fugaces aparecían a veces en bandadas, como si circularan en una órbita alrededor del Sol, lo que le indujo a pensar que podían tener un origen común. De esta forma, investigando sobre



GRUPOS MAS NOTABLES DE METEORITOS			
Fecha	Nombre	Radiante (aprox.)	Número de meteoritos por hora
• 2-5 enero	Cuadrántidas	Beta Bootis	30
• 20-22 abril	Líridos	Entre Kappa Lyrae y Csi Herculis	8
• 2-6 mayo (máximo el 4)	Eta Acuáridos	Eta Aquarii	10
• 25-30 julio (máximo el 28)	Delta Acuáridos	Delta Aquarii	15
• 1-25 agosto (máximo el 12)	Perseidos	Eta Persei	40-50
• 10 octubre	Dracónidos	Zeta Draconis	variable
• 16-26 octubre (máximo el 11)	Oriónidos	al norte de Orión cerca de Géminis	15-20
• 14-18 noviembre	Leónidos	Zeta Leonis	variable
• 26 nov.-4 dic.	Androméridos	Gamma Andromedae	variable
• 10-16 diciembre	Geminidos	Castor	50-55

estas órbitas y sobre las de los cometas que habían sido registrados, descubrió que existía una relación entre ambas cosas, es decir, que en muchos casos los meteoritos no eran más que residuos dejados por un cometa que se había ido consumiendo a lo largo de su órbita. Efectivamente, las órbitas de los meteoritos y de los cometas son parecidas, tanto desde el punto de vista de su excentricidad, ya que ambas son fuertemente elípticas, como desde el punto

de vista de su inclinación respecto a la de todos los planetas, incluida la Tierra. Es por esta razón por lo que los meteoritos, y sobre todo los más pequeños, se mueven en grupo y forman enjambres. A la izquierda, una tabla en la que se presentan los grupos de meteoritos más notables. Se indica también las posiciones aproximadas de sus radiantes y la fecha más probable de su encuentro con la Tierra, así como datos relativos a la densidad media de los diversos grupos.

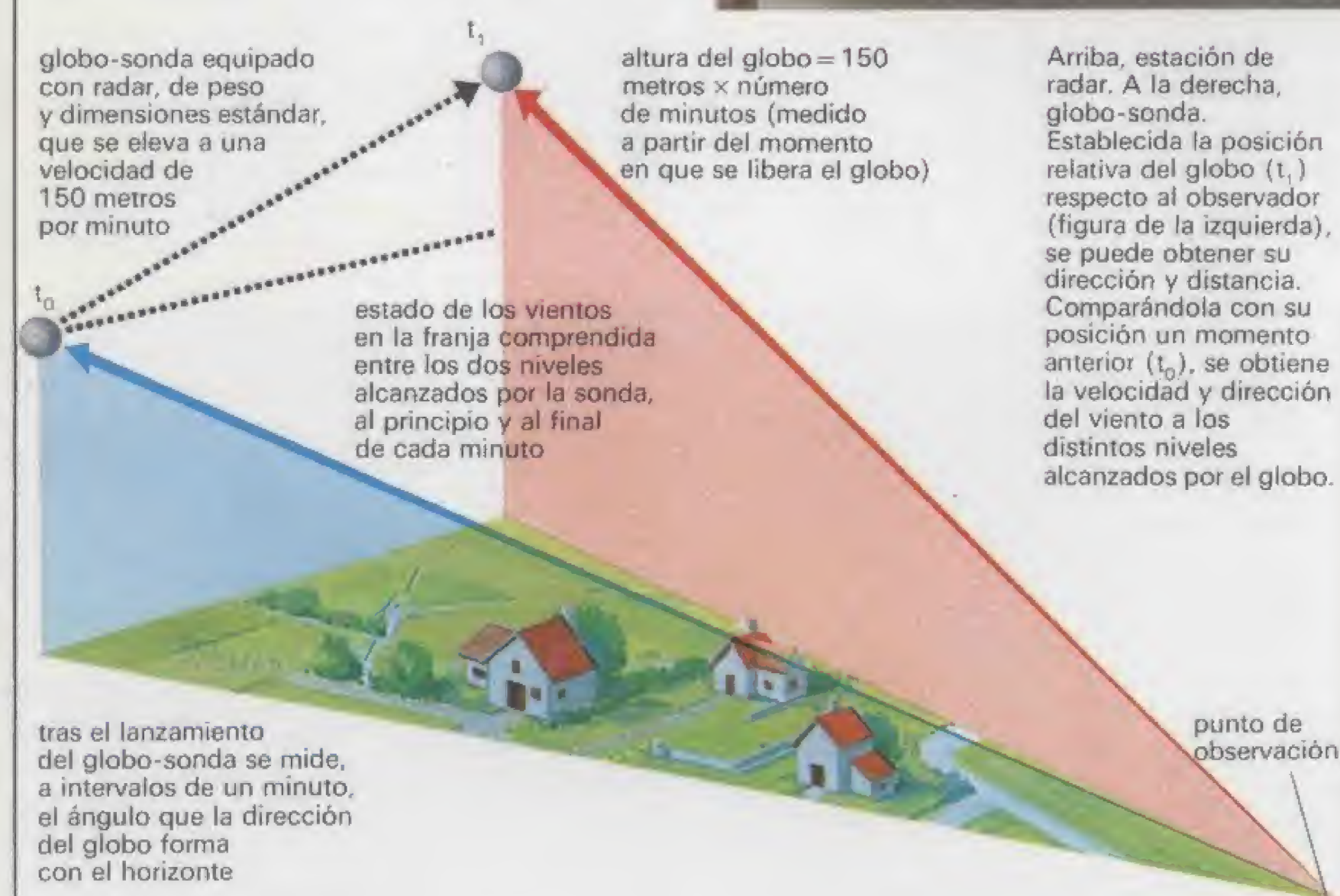


A la izquierda, fotografía de un meteorito durante su caída. Se trata de un meteorito pequeño, aunque no todos son así. Se han llegado a registrar meteoritos de dimensiones tan elevadas como para producir cráteres con profundidades de cientos de metros y diámetros de decenas de kilómetros. A la izquierda, el Meteor Crater en Arizona (EE UU), con un diámetro de casi 2.000 metros. Arriba, los puntos de caída de meteoritos que han excavado grandes cráteres.

Meteorología, instrumentos

Desde antiguo, el hombre se ha sentido atraído por el imprevisible devenir de las situaciones atmosféricas: así, los ciclos anuales súbitamente interrumpidos por largas sequías, las rápidas modificaciones de las condiciones ambientales que provocan en pocas horas la desolación de regiones enteras, etc. rodearon de un carácter mitológico a los fenómenos naturales e impidieron durante siglos el estudio de las leyes que los gobiernan.

La invención del termómetro por Galileo en 1600, del barómetro por su discípulo Torricelli en 1634, y, más adelante, del higrómetro permitieron acceder a observaciones objetivas y rigurosas de las variables fundamentales de la atmósfera, pudiendo así establecerse una sólida base científica que más tarde serviría para descubrir las leyes que rigen los fenómenos fisicoquímicos responsables de las variaciones de temperatura, presión y humedad, los vientos, las precipitaciones y otros fenómenos naturales.



El objeto de la Meteorología es el estudio de los fenómenos atmosféricos y la predicción del tiempo futuro mediante el uso de mapas basados en observaciones y en las ecuaciones que los gobiernan.

El funcionamiento de la "máquina meteorológica" A mediados del siglo XIX se estableció en Gran Bretaña la primera red de observatorios para medidas rutinarias destinadas a la elaboración de mapas del tiempo. Posteriormente, a principios de nuestro siglo, la utilización de globos meteorológicos permitió realizar los primeros estudios detallados de las capas más bajas de la atmósfera.

Esa intensa investigación, basada en una observación constante, precisa y coordinada, ha permitido comprobar que las condiciones meteorológicas se hallan estrechamente ligadas al movimiento in-

cesante de enormes masas de aire en la atmósfera terrestre.

El "intento", por parte de la atmósfera, de compensar la desigual distribución de la radiación solar —y por tanto del calor— que recibe la Tierra es el origen de la potente "máquina meteorológica", que se pone en movimiento al interaccionar las masas de aire frío procedentes de las regiones polares con las masas de aire cálido formadas en los Trópicos. Al contrario de lo que se podría pensar, la superficie de contacto entre ambas masas, denominada *Frente Polar*, está perfectamente definida, manteniéndose a ambos lados de ella aire con características muy distintas, que crean las condiciones necesarias para que tengan lugar los imprevistos —y a veces radicales— cambios de tiempo que afectan a las latitudes medias. El Frente Polar se curva y se desplaza. Las masas

de aire cálido y ligero se deslizan sobre el aire frío, produciendo focos inestables con un fuerte movimiento de rotación a su alrededor, que se amplifica hasta formar los *ciclones*, o *borrascas*, constituidos por áreas de baja presión y caracterizados por vientos que convergen con movimiento en espiral hacia su centro. En el hemisferio Norte su sentido de giro es antihorario. Por lo general, son portadores de mal tiempo, pudiendo afectar a superficies de más de 2,5 millones de kilómetros cuadrados las tormentas y tempestades asociadas a estas masas de aire.

Los anticiclones Por el contrario, los anticiclones son áreas de alta presión, donde el viento gira lentamente en dirección opuesta a la ciclónica, proyectándose hacia fuera en un suave movimiento centrífugo. Son sinónimo de tiempo bue-



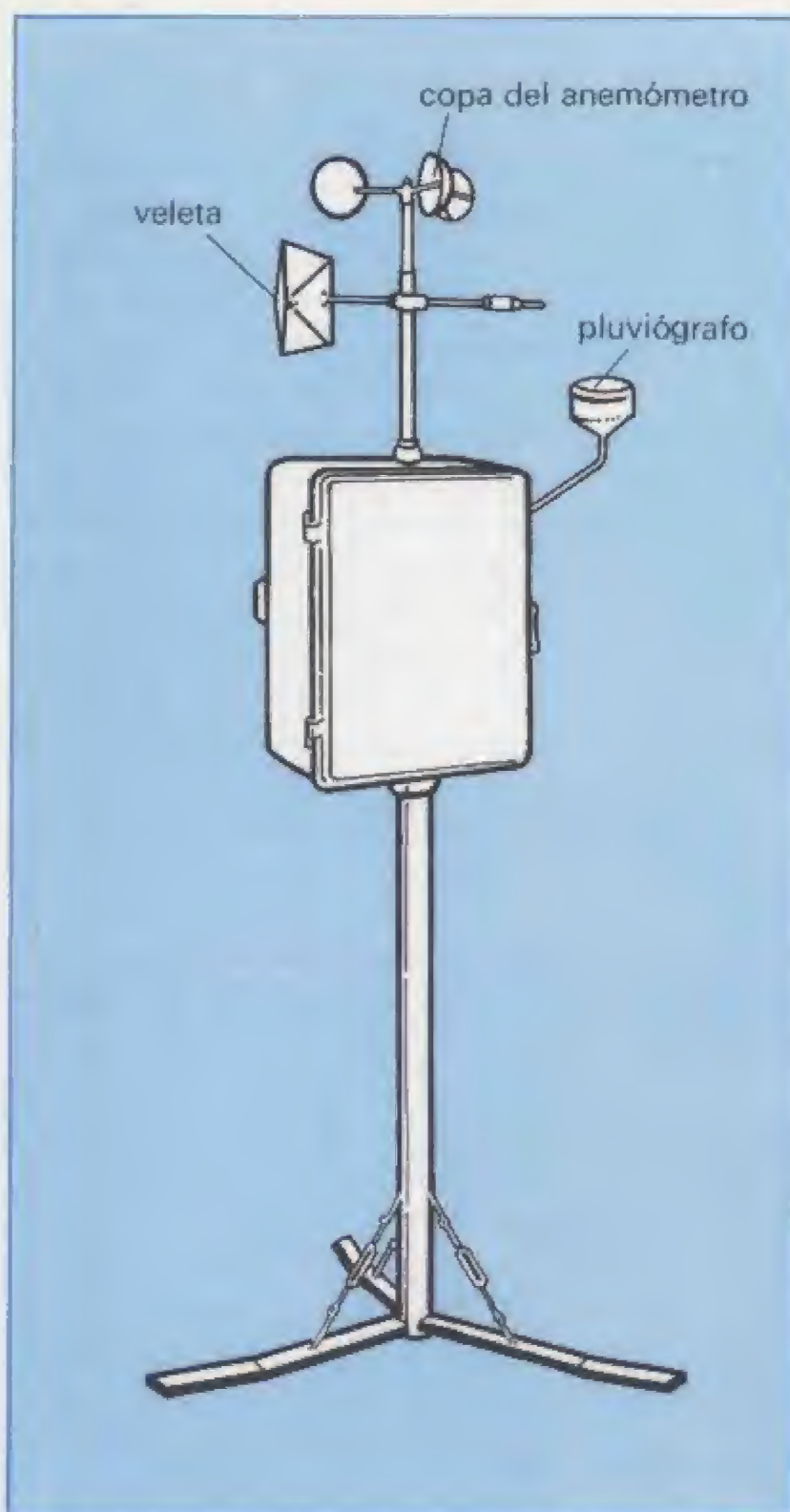
no y estable, aunque su característica de cielo despejado puede ocasionar en invierno fuertes descensos de la temperatura durante la noche.

Los iniciales movimientos en dirección ecuador-polo de las masas de aire, consecuencia de sus diferencias de temperatura, se ven modificados por efecto de la rotación terrestre (fuerza de Coriolis), de tal modo que los sistemas ciclónicos tienen una progresión en sentido Este-Oeste.

El movimiento de las masas de aire, la formación de los frentes y de los sistemas meteorológicos pueden ser, y de hecho son, enormemente modificados por las interacciones de la atmósfera con la orografía del terreno, con los mares y océanos y, en particular, por los intercambios de calor y de humedad que en todo momento tienen lugar entre los propios sistemas.

La Instrumentación meteorológica

El equipo instrumental con que deben estar dotadas las miles de estaciones meteorológicas que se reparten sobre el planeta se encuentra normalizado por la Organización Meteorológica Mundial para garantizar la compatibilidad de los datos obtenidos. Básicamente se compone de una serie de instrumentos dedicada a registrar diversos parámetros meteorológicos, como temperatura del aire, humedad, presión, precipitación y dirección e intensidad del viento. A fin de obtener la evolución temporal de esos parámetros, se diseñaron ingeniosos mecanismos de relojería que permiten el registro diario, semanal o incluso mensual de las medidas realizadas por un instrumento.



El avance de la Electrónica en los últimos años ha impulsado a su vez el desarrollo de estaciones autónomas que, funcionando con células solares, permiten la obtención de datos en lugares de difícil acceso. Las medidas se graban en una cinta magnética que es sustituida mensualmente, o bien son transmitidas diariamente por un pequeño emisor de radio al centro coordinador de la red.

Arriba, a la izquierda, una estación meteorológica de campaña, equipada con termohigrógrafo (registra las variaciones de temperatura y la humedad relativa), barógrafo (mide las variaciones de presión

atmosférica), geotermógrafo (registra temperaturas del suelo a distintos niveles de profundidad) y evaporígrafo (registra la cantidad de agua que se evapora diariamente). Sobre estas líneas, estación meteorológica portátil.

La estructura vertical de los parámetros meteorológicos se obtiene mediante sondeos aerológicos, que se realizan dos veces al día en un gran número de estaciones. Un globo portando un pequeño equipo se eleva hasta alcanzar los 30 km de altura, transmitiendo a tierra datos de presión, temperatura y humedad de las capas de aire que atraviesa. Un equipo de radar que sigue su ascenso facilita los datos de dirección e intensidad del viento, obtenidos al valorar los desplazamientos horizontales del globo al elevarse. Otros equipos más sofisticados permiten obtener automáticamente el perfil de vientos sin necesidad de radar.

Progresos tecnológicos Dos innovaciones tecnológicas, desarrolladas durante los dos últimos decenios, han supuesto una gran ayuda en el estudio de los sistemas meteorológicos: los satélites y el empleo masivo de los ordenadores.

En la actualidad los satélites exploran continuamente la atmósfera terrestre, enviando datos sobre su composición y estructura, y permitiendo observar el origen y evolución de los sistemas meteorológicos. Simultáneamente, la gran capacidad de tratamiento y almacenamiento de datos de los modernos ordenadores ha permitido sintetizar el elevado flujo de datos procedente de los satélites y de la red de estaciones, agilizando la elaboración de mapas cada vez más precisos, y permitiendo la realización de pronósticos fiables a corto plazo, para lo cual se aplican complejas ecuaciones a los datos obtenidos unas horas antes, lo que hace tan sólo diez años era absolutamente irrealizable.

Véase **Atmósfera; Barómetro; Ciclón tropical; Clima; Meteorología, predicción; Satélite meteorológico; Termómetro; Tiempo atmosférico; Tornado**

Destaca la presencia de un anemómetro de copas, capaz de suministrar datos

sobre la velocidad del viento. En la fotografía de abajo, un tipo de evaporímetro.



Meteorología, predicción

La influencia que el tiempo meteorológico ejerce sobre todas las formas de vida del planeta hizo que su previsión se desarrollase pareja a la cultura de los pueblos, comenzando bajo formas de creencias populares —basadas, en el mejor de los casos, en la experiencia— y evolucionando hasta alcanzar el carácter de ciencia. En la actualidad los avances tecnológicos en los campos espacial, electrónico y de las comunicaciones han dotado a la Meteorología de nuevos medios para prever, con cierta antelación y garantía, fenómenos naturales que inciden sobre las actividades normales de la sociedad.

El libro de las señales Los textos literarios de las civilizaciones antiguas que han llegado hasta nosotros contienen un cierto número de proverbios concier-

to mejorar la predicción. Durante siglos, la situación permanece estacionaria; solamente la lluvia y la dirección del viento se podían medir con la ayuda de dos sencillos instrumentos: el *cubo* y la *veleta*.

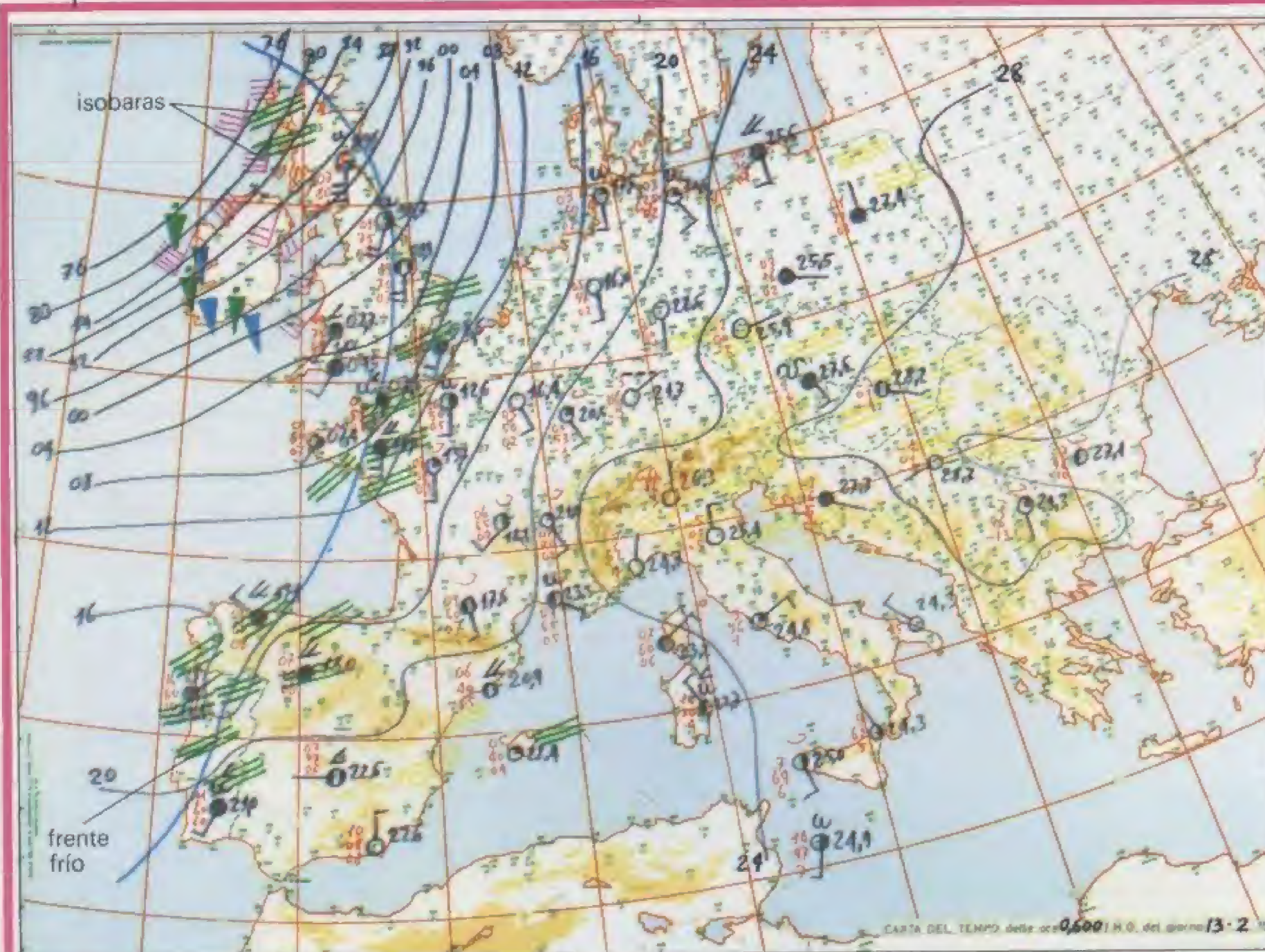
La introducción del *termómetro* y del *barómetro* durante el Renacimiento y la observación, pocos años más tarde, de que los cambios de tiempo son precedidos por variaciones de presión marcan el comienzo de una nueva etapa, convirtiendo al barómetro en el instrumento clave del pronóstico. Con esos análisis, el hombre del siglo XVIII comienza el estudio de los fenómenos atmosféricos y la previsión del tiempo sobre la base científica de las observaciones y el razonamiento.

Cooperación sin fronteras Durante los siguientes 150 años tiene lugar un largo y

de comunicación disponibles hacía que dichos mapas fueran elaborados siempre con retraso, limitándose su uso a comprobar su exactitud *a posteriori*.

Con el invento del telégrafo por Morse, en 1840, tuvieron lugar importantes cambios en el campo de la Meteorología. El sueño de recibir los datos y realizar un pronóstico antes de que se produjese el cambio de tiempo estaba a punto de hacerse realidad. A la vez, los gobiernos empiezan a mostrar un creciente interés por la Meteorología, motivado en gran medida por la constatación de que algunos desastres naturales hubieran podido evitarse con la existencia de una amplia red de observatorios y un centro de predicción.

Sin embargo, los mapas conteniendo la información procedente de los observatorios no permitieron una previsión fidedig-



SIGNIFICADO DE LOS SIMBOLOS

25,4 presión atmosférica

(como los valores de la presión se encuentran próximos a los 1.000 mb, se simplifican: omitiendo la primera cifra (9) cuando se trata de presiones inferiores a 1.000 mb, y las dos primeras (10) cuando la presión es mayor de 1.000 mb. Así, 89,6 y 98,7 son en realidad 989,6 mb y 998,7 mb, respectivamente, mientras que 16,4 y 25,4 son 1.016,4 mb y 1.025,4 mb)

3 temperatura
56 visibilidad
4 humedad

- vientos medidos a diversas alturas
- dirección e intensidad de los vientos
- cielo despejado
- ◐ cielo cubierto en 1/4
- ◑ cielo medio cubierto
- ◒ cielo casi totalmente cubierto
- cielo cubierto
- ▲ nube tormentosa
- ▼ riesgo de lluvia
- ≡ lluvia
- ≡ niebla
- cirros
- ∕∕ nimboestratos
- ∕ altoestratos
- u altocúmulos
- ∪ estratocúmulos
- estratos

tes a la predicción del tiempo, inspirados en la observación de su entorno y en signos naturales tales como la emigración de las aves; así, la foliación de los árboles, el comportamiento animal, el color del amanecer o un halo alrededor del Sol o la Luna eran señales que presagiaban al hombre la llegada de un fenómeno que podía influir sobre sus cultivos y ganados, determinando su proceder en muchas ocasiones.

A finales del siglo IV a. de C. un discípulo de Aristóteles describió, en *El libro de las señales*, más de 200 signos naturales que permitían revelar el tiempo que iba a acontecer en las siguientes horas, días o incluso años.

Pero esta predicción del tiempo, basada en el carácter subjetivo de la observación de los signos, no permitía el estudio científico del tiempo, impidiendo por tan-

meticuloso trabajo de recogida de datos: los observatorios se multiplican, se normalizan los instrumentos —a los que se añade el *higrómetro*— y las medidas se hacen simultáneas. Pero el tiempo en una región o en un país no es independiente de las influencias que sobre él ejercen las zonas limítrofes, y la información fluye entre observatorios y entre países a través de todos los medios de comunicación existentes.

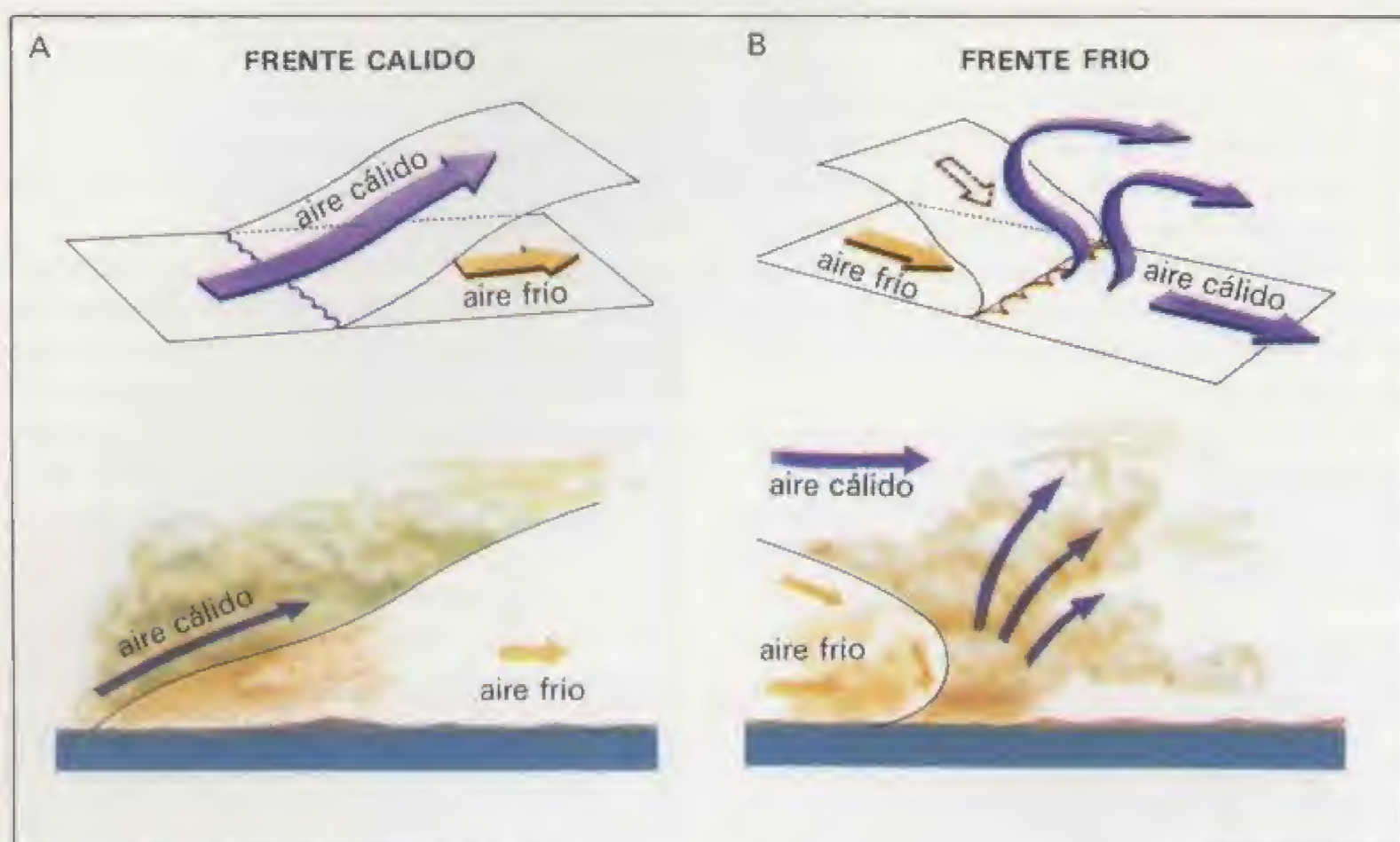
Ese ingente trabajo se vio recompensado, ya que en el primer tercio del siglo XIX se puede constatar que el tiempo se va modificando a medida que las masas de aire avanzan sobre la superficie de la Tierra, y empiezan a elaborarse mapas con las primeras previsiones científicas basadas en los datos recibidos de varios observatorios, a veces muy lejanos entre sí. Sin embargo, la lentitud de los medios

El mapa de Europa (arriba) nos proporciona los datos sobre las condiciones del tiempo, referidos a una hora determinada de un día del año. Las líneas negras de trazo continuo (isobaras) unen puntos de igual presión atmosférica, referidos al nivel del mar. Las áreas con valores inferiores a 1.012 milibares

se encuentran en zonas de borrascas con posibilidad de precipitaciones, mientras que aquellas en que los valores son superiores suelen corresponder a tiempo estable y soleado. La presión atmosférica se mide en milésimas de bar o milibar (mb). Un bar equivale a 750,062 milímetros de mercurio.

na hasta la aplicación de la Teoría del Frente Polar, desarrollada por Vilhelm Bjerknes durante la I Guerra Mundial. Esta teoría permite identificar con precisión la fase en que se encuentra una borrasca en su ciclo vital, lo que revela cuál será su evolución y comportamiento posteriores.

Ya en esa época, las observaciones se realizan simultáneamente y con los mis-



mos tipos de instrumentos en miles de estaciones distribuidas regularmente por todo el planeta. A partir de 1930, globos meteorológicos sondean los primeros 30 kilómetros de la atmósfera, transmitiendo información sobre las características de esas masas de aire, lo que supone una gran ayuda para interpretar los datos de superficie y su futura evolución. Desde la década de los sesenta los satélites meteorológicos suministran una valiosa información. Algunos de ellos, como el *Meteosat*, lanzado por la Agencia Espacial Europea,

examinan constantemente el contenido de nubes de una extensa área del planeta. Toda la información es rápidamente enviada a las oficinas centrales de predicción, donde se analizan las observaciones y se elaboran los mapas del tiempo, que son enviados a los centros locales, los cuales interpretan dichos informes valorando las tendencias regionales y locales y emitiendo finalmente los pronósticos del tiempo para las horas siguientes.

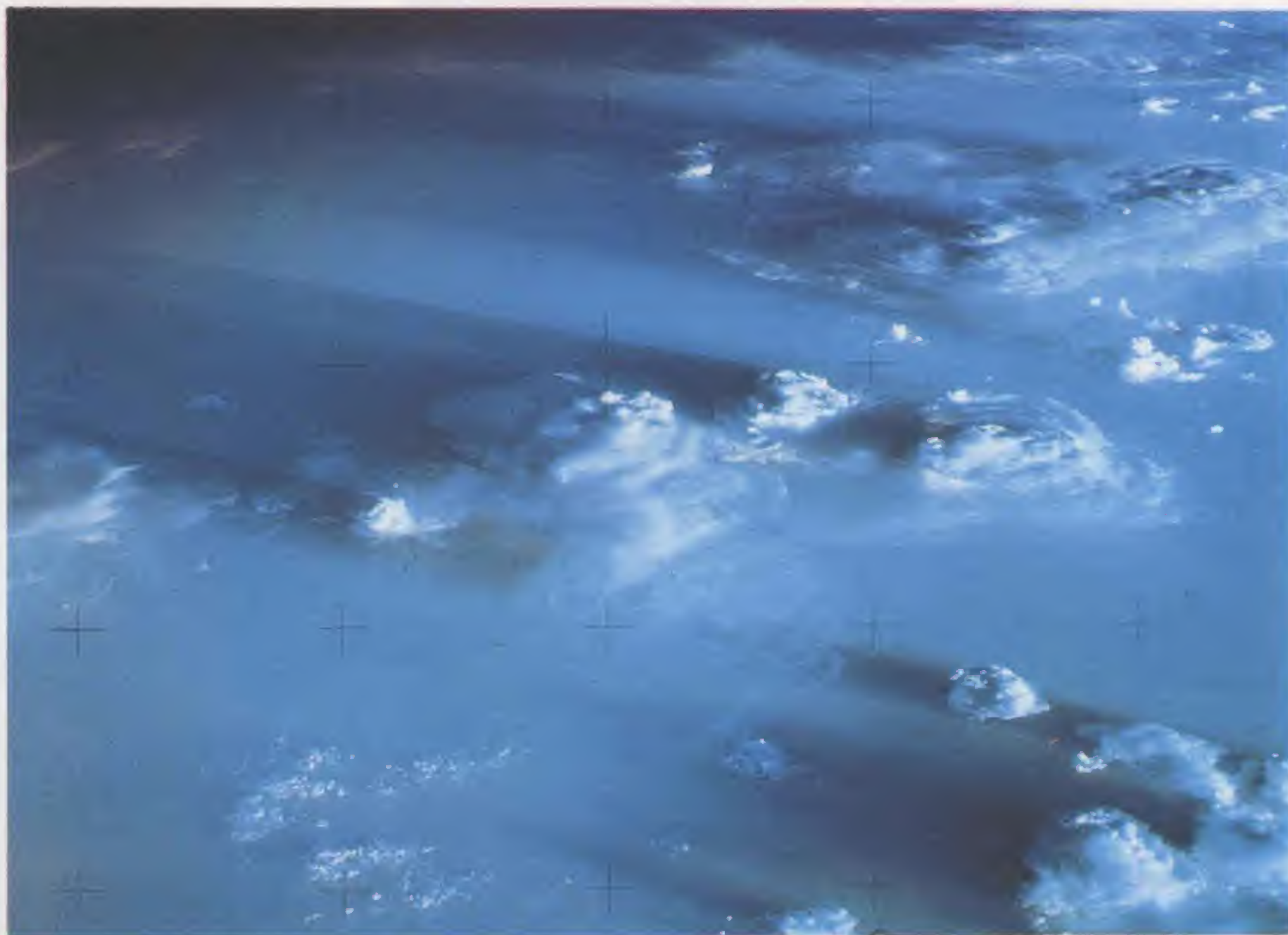
En nuestros días, el ingente flujo de información se canaliza a través de grandes

ordenadores (el más potente instalado en España se encuentra en el Instituto Nacional de Meteorología), que procesan los datos en modelos de predicción altamente sofisticados y dibujan los mapas de previsión. Con su ayuda, y a la luz de los conocimientos que se poseen sobre el comportamiento de la atmósfera, los meteorólogos ultiman el pronóstico del tiempo: predicción que nos informa, por ejemplo, de un fin de semana caracterizado por el buen tiempo, o nos alerta —reduciendo al mínimo las pérdidas materiales y en vidas humanas— de la posibilidad de que se produzca una inundación o de la aproximación de un ciclón.

Véase Barómetro; Ciclón tropical; Clima; Meteorología, instrumentos; Satélite meteorológico; Termómetro; Tiempo atmosférico; Tornado

La llegada de un *frente* viene determinada por la aparición de nubes (que se forman por condensación del vapor de agua contenido en el aire cuando éste es obligado a elevarse y, por tanto, experimenta un proceso de enfriamiento). Un frente cálido se genera cuando una masa de aire caliente se encuentra en su avance una masa de

aire frío, que la obliga a elevarse, produciendo entonces nubosidad y precipitaciones moderadas (A). En un frente frío, la masa de aire frío avanza sobre la masa de aire cálido encunándose bajo ella y obligando a ascender violentamente al aire caliente, produciéndose entonces gran nubosidad e intensas precipitaciones (B).



Método axiomático

La matemática actual se presenta como una teoría estrictamente *deductiva* o *axiomatizada*, que trata de objetos puramente abstractos. Muchas veces se dice que es la *teoría de los sistemas formales* y que se construye en torno a las llamadas *estructuras*, que, a su vez, se han definido de modo axiomático. Cabe preguntarse ¿qué quiere decir ciencia deductiva o axiomatizada?, ¿qué es el método axiomático? y, también, ¿es el mismo una novedad o es consustancial con la propia matemática?

Tradicionalmente se ha entendido que una ciencia deductiva, o *axiomatizada*, consistía en una lista de verdades evidentes, los *postulados* o *axiomas*, a partir de los cuales, siguiendo rigurosamente métodos lógicos-deductivos, se obtenía una serie de verdades necesariamente ciertas, los *teoremas*. Con el tiempo tal idea ha ido depurándose, hasta llegar a considerar los axiomas como enunciados cuya validez se acepta por principio y relativos a entidades desprovistas de contenido empírico, que se someten únicamente al cumplimiento de los mismos y a las "reglas del juego" de la lógica. Queda, pues, lejos la primitiva concepción griega, que ejemplifican Euclides y Aristóteles, para los que los *axiomas* eran los principios fundamentales y comunes para todas las ciencias, evidentes o indemostrables, mientras que los *postulados* eran las verdades evidentes sobre los objetos reales de la ciencia de que se tratase, a partir de los cuales obtenían, por las reglas de la lógica, enunciados verdaderos.

Aunque el paradigma de sistema deductivo durante más de veinte siglos fuera el de la geometría de Euclides y los *Elementos*, el inspirador de todos los intentos de construir disciplinas científicas de modo deductivo y conformador de la enseñanza elemental de la geometría hasta tiempos recientes, conviene señalar que el método axiomático griego, en esencia análogo al nuestro, resultaba imperfecto, por su prejuicio sobre la evidencia de los axiomas y por su técnica un tanto primitiva y necesariamente ingenua.

El nacimiento de las geometrías no-euclídeas en el siglo XIX esclareció el auténtico significado del método axiomático, su independencia de los significados concretos que se quisiera dar a los términos de la teoría y de la supuesta *evidencia* de los axiomas. Hilbert, con su fundamentación de la geometría y su programa de formalización de la matemática, consagró definitivamente su papel (con independencia de la interpretación y relevancia que, desde diferentes supuestos filosófico-matemáticos le atribuya cada uno).

La evolución que, a lo largo de la historia, ha recorrido el método axiomático puede esquematizarse en cuatro estadios:

a) El de la *axiomática intuitiva* o *ingenua* en el que, simplemente, se aíslan los conceptos y enunciados fundamentales, que se consideran evidentes, y de los que por procedimientos de lógica natural se deducen los demás enunciados. El ejem-

plo típico es el de los *Elementos* de Euclides.

b) El de la *axiomática abstracta*, en el que los conceptos fundamentales son precisados de forma perfecta, enunciando explícitamente sus propiedades básicas (pero dejando indeterminadas sus posibles interpretaciones concretas). Un ejemplo inmediato es el de la definición ordinaria de *grupo*.

c) El de la *axiomática formal*, en el que el contenido de los conceptos fundamentales no juega ningún papel, cuyo significado está totalmente fijado por la lista de axiomas que, no obstante, en su formulación admiten aún expresiones del lenguaje corriente (con cierto sentido dado intuitivamente). Un ejemplo podría ser el proporcionado por la definición axiomática del conjunto de los números naturales según Peano.

d) El de los *sistemas formales puros*, en los que toda referencia a posibles significados externos es suprimida mediante la utilización de un lenguaje simbólico rigurosamente definido y las reglas de deducción son explicitadas completamente.

Descripción de un sistema axiomático Todo sistema deductivo (más o menos formalizado) obedece a una serie de características que se describen a continuación brevemente, poniendo de manifiesto las etapas de su constitución.

Primera etapa. Se da la lista de los *términos primitivos e indefinidos* que, según el nivel de formalización del sistema, pueden ser conceptos intuitivamente inteligibles o meros símbolos desprovistos (a efectos de la teoría) de cualquier significado. Todos los demás términos que intervengan en el sistema deben ser definidos en función de ellos exclusivamente y serán los *términos* definidos del sistema.

Segunda etapa. Se elige una lista de *axiomas* o *postulados* que no se demuestran, que rigen el "comportamiento" de los términos primitivos y que por deducción conducen a los demás enunciados del sistema.

Tercera etapa. Se adopta una *lógica*; es decir, se dan las reglas de deducción que permiten obtener otras proposiciones a partir de las ya dadas. Normalmente, en un sistema intuitivo se adoptará una lógica no formalizada (por ejemplo, la lógica aristotélica); por el contrario, en un sistema formal puro será necesario explicitar las reglas de deducción pertinentes en lenguaje simbólico.

Cuarta etapa. Se trata simplemente de *desarrollar el sistema*, es decir, de extraer todas las consecuencias posibles (mediante las reglas de la lógica adoptada) de los axiomas; los nuevos enunciados son precisamente los *teoremas* del sistema.

Se dice que los axiomas y los teoremas son proposiciones *derivables* del sistema. Los primeros porque son dados como enunciados *verdaderos*; los teoremas, porque se obtienen como finales de una serie de enunciados obtenidos, por las reglas deductivas, a partir de los axiomas.

Una proposición es *refutable* cuando su negación es derivable. En un sistema determinado una proposición es *decidible* si es derivable o refutable en el propio sistema. Es *indecidible* si no es ni derivable ni refutable.

Se dice que se ha dado una *interpretación* o *modelo* de un sistema formal cuando se puede establecer una correspondencia (no necesariamente biunívoca) entre los términos indefinidos del sistema y un conjunto de objetos de modo que se cumplan dos condiciones: primera, que sea posible determinar si los enunciados relativos a objetos de dicho conjunto son verdaderos o falsos (con independencia del sistema formal); y segunda, que a las proposiciones derivables del sistema formal correspondan enunciados verdaderos para los citados objetos.

Dos modelos son *isomorfos* cuando es posible establecer una biyección entre los objetos de ambos y, además, a cada enunciado verdadero referente a uno de ellos corresponde uno igualmente verdadero en el otro.

Propiedades de los sistemas axiomáticos Los axiomas de una determinada teoría deductiva tienen que cumplir una serie de condiciones para que sean admisibles y representen algo más que un capricho de la imaginación.

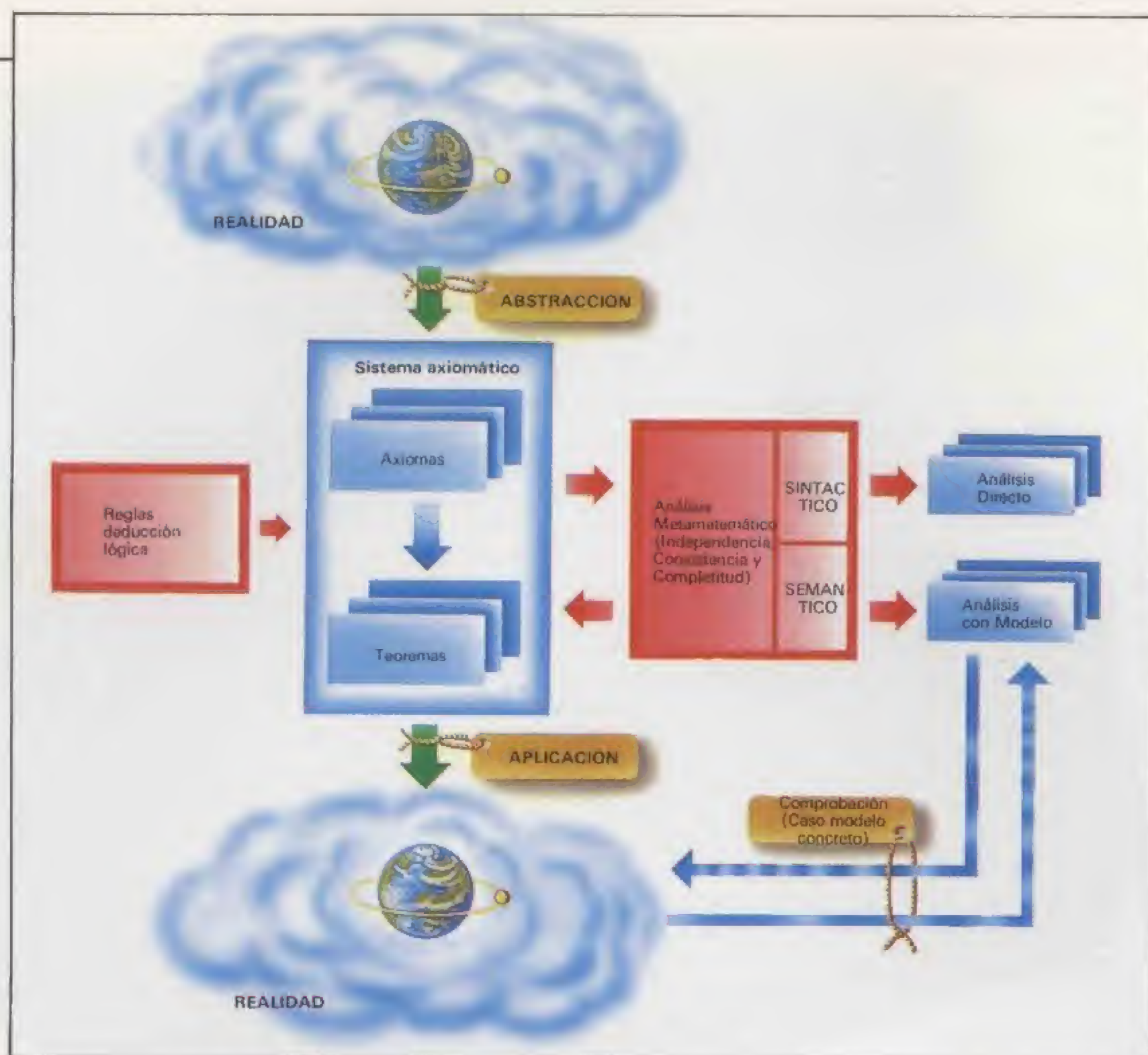
La característica fundamental e ineludible de un sistema es la de la *compatibilidad* de sus axiomas; es decir, que no deben ser derivables en él una proposición y su negación; o lo que es lo mismo, el sistema no debe conducir a contradicciones. También se denomina a esta condición *coherencia* o *consistencia* o *no contradicción*. Puede probarse que en un sistema no consistente cualquier proposición es derivable.

Para demostrar la consistencia de un sistema axiomático son dos los principales caminos: uno, el directo; otro, el de la construcción de un modelo. El método directo consiste en comprobar la no existencia de contradicciones por las reglas de la inferencia lógica. Como es natural, el camino es espinoso y más dado a probar la inconsistencia, si después de algunos análisis se ha encontrado una contradicción, que a lo contrario.

El otro procedimiento consiste en encontrar al menos un *modelo* para el sistema. Entonces su consistencia dependerá de la prueba, por métodos independientes, de la verdad de los enunciados referentes al modelo.

Por ejemplo: si la geometría euclídea axiomatizada la interpretamos por el modelo de la "geometría" de nuestra experiencia sensible no hemos hecho sino trasladar nuestro problema al campo empírico, lo que sin embargo puede darnos ciertas garantías de consistencia porque los enunciados referentes al modelo "parecen" ser verdaderos.

Un axioma de un sistema se llama *independiente* cuando no es derivable en el sistema formado por el resto. En caso con-



En la ilustración se muestra, de un modo gráfico e intuitivo, que un sistema axiomático está constituido por enunciados de dos clases: los axiomas y los teoremas, y que estos últimos se

deducen de los primeros aplicando una lógica. Por otra parte, se pretende significar que el estudio metamatemático o análisis de las propiedades del sistema, puede ser

sintáctico —es decir, directo— o, por el contrario, *semántico* —es decir, vía modelos—. Por último, se quieren insinuar las posibles relaciones —en los casos que existan— entre sistemas reales y

formales. Por un lado, los objetos y axiomas pueden ser producto de un proceso de idealización de objetos y relaciones reales; por otro, éstos pueden ser un modelo concreto de aquéllos.

trario es *redundante* y debe ser considerado como un teorema. Se dice que un sistema tiene la propiedad de *independencia* si todos sus axiomas son independientes. Esta es una propiedad cuyo cumplimiento, aunque deseable, no es forzoso; se trata únicamente de un requisito de elegancia y purismo lógico. La historia está llena de sistemas que se consideraron independientes y luego se ha probado que no lo eran y recíprocamente. La creencia errónea de que el sistema de Euclides es redundante y de que el "V Postulado" es derivable de los demás dio trabajo a los matemáticos durante más de veinte siglos, hasta que se llegó al convencimiento de que Euclides estaba en lo cierto y de que, ¡por eso mismo!, "su" postulado es una verdad discutible.

Un sistema se llama *completo* si añadiéndole como postulado adicional una proposición no derivable en él resulta un nuevo sistema que no es consistente. Si un sistema es completo quiere decirse que cualquier proposición p relativa al sistema es tal que es derivable o refutable en el sistema (por la razón de que si p no fuera derivable el sistema ampliado con ella sería inconsistente y su negación verdadera). En otros términos, cabe decir que, si el sistema de axiomas de una teoría tiene la propiedad de *completitud*, todas las proposiciones verdaderas de dicha teoría

se pueden obtener a partir de los axiomas. Es decir: en él tiene solución el llamado "problema de la decisión"; o sea, es posible determinar el carácter *decidible* o no de cualquiera de las proposiciones que pueden enunciarse en él.

La investigación o análisis sobre un sistema axiomático, naturalmente, no forma parte del mismo. En el caso de los sistemas matemáticos tal análisis es, siguiendo la terminología impuesta desde Hilbert, objeto de la *metamatemática*. A su vez, en ésta —como en la *metalógica* o, en general, en cualquier estudio *semiótico*— cabría adoptar posiciones sintácticas o semánticas, según que se estudien la validez y propiedades directamente o en función de sus significados (es decir, recurriendo a modelos).

El método axiomático de Hilbert a Gödel Hilbert y su escuela dedicaron grandes esfuerzos a estudiar distintas versiones formales de las teorías de la matemática clásica, tratando de probar que eran consistentes y completas. El éxito obtenido en casos simples, como el de la geometría euclídea, provocó un clima de euforia que fue arruinado por Gödel en 1931, al demostrar que un sistema axiomático que, por lo menos, contenga a la aritmética, si es consistente es incompleto o, en otros términos, que todas las *verdades*

de la aritmética no pueden obtenerse en un sistema axiomático consistente. La importancia de tal resultado capital no supone la ruina de la lógica o la matemática, ni siquiera la del método axiomático, pero marca los límites del pensamiento formal y sitúa a éste en relación con otras formas del conocimiento.

Tampoco debe interpretarse la conclusión de Gödel como imposibilidad absoluta de demostrar la consistencia de una aritmética formalizada, sino la de probarla dentro del propio sistema. Por el contrario, aceptando el principio de inducción transfinita, Gentzen (un miembro de la escuela de Hilbert) dio una demostración matemática de la consistencia de la aritmética en 1936. El precio fue utilizar un razonamiento no representable dentro del formalismo de la aritmética y ajeno al método finitista preconizado por Hilbert.

Como ya se ha señalado anteriormente, la independencia de los axiomas es deseable, aunque no imprescindible, y la consistencia es ineludible; por el contrario, la completitud (hecha abstracción de la posible incompatibilidad con la consistencia para sistemas relativamente complejos) es conveniente o no, según los fines que se persigan. Si se quiere dar una versión abstracta y formal de una determinada y única teoría concreta, el requisito de completitud es necesario; por el contrario, si se quiere obtener un sistema formal o estructura que se presente en distintos campos de la matemática —y, por lo tanto, teniendo múltiples modelos— será necesario que el conjunto de axiomas no sea completo. A tal respecto piénsese, por ejemplo, en la axiomática de grupo.

Una nota final La importancia absolutamente indiscutible del método axiomático en matemática, el hecho de que sin el mismo ésta fuera, tal vez, una especie de protofísica y, por último, la relativa posibilidad de que, en ciertos casos, funcione como un método de investigación, no deben oscurecer, sin embargo, dos hechos fundamentales.

El primero es que la heurística matemática, es decir, la técnica de descubrir nuevos resultados matemáticos, discurre por caminos ajenos a la pura lógica. La analogía, el tanteo, la hipótesis aventurada, las imágenes físicas o geométricas, etc., están en la base de la creación matemática. La evolución real (histórica) de la matemática tiene poco que ver con las exposiciones rigurosas, sistemáticas y formalizadas de la misma.

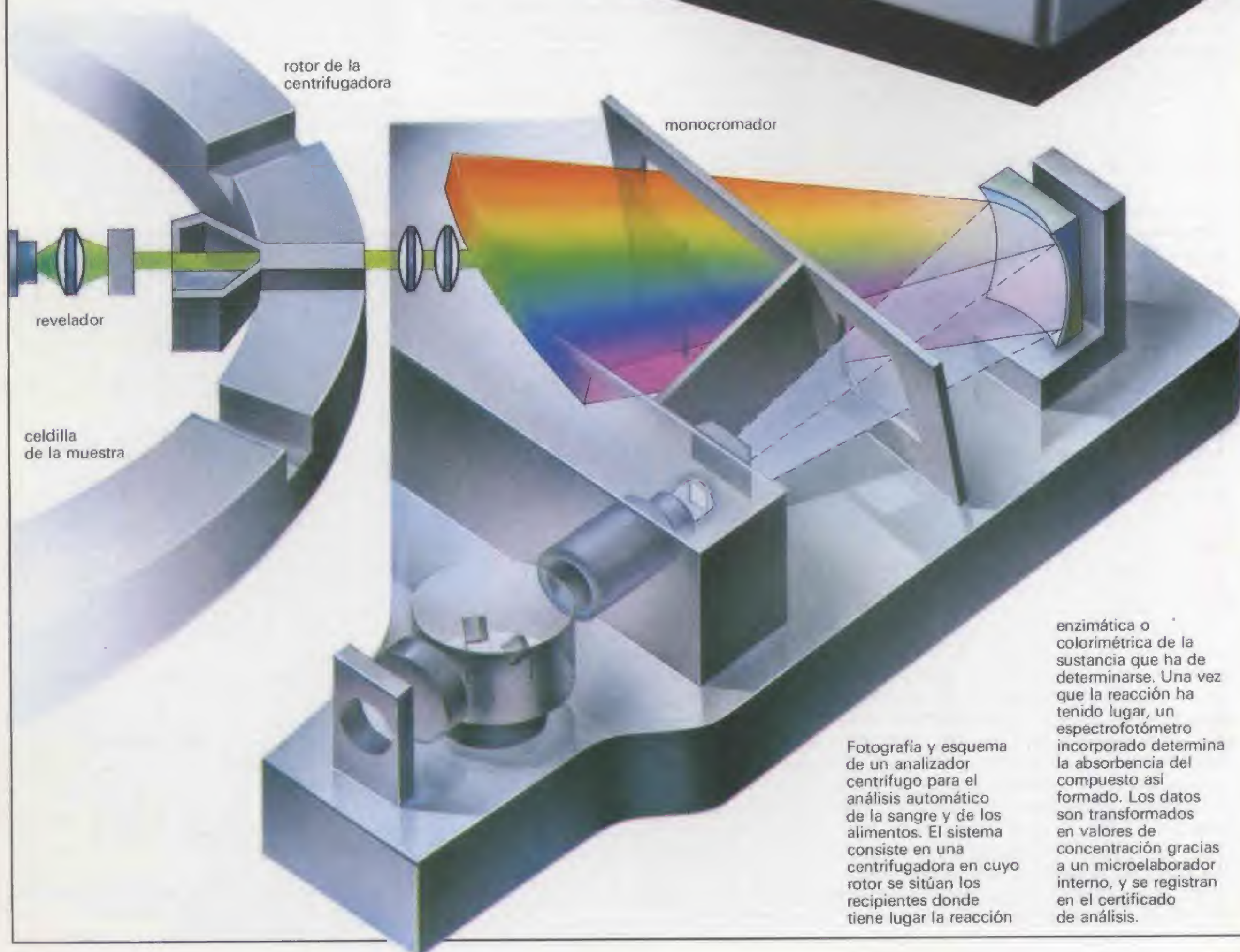
El segundo es que, independiente y simultáneamente, con la consagración actual del método axiomático se produce una extraordinaria aplicabilidad de la matemática al estudio y transformación de la realidad; lo que para unos es prueba indiscutible de su relación empírica con la misma y para otros de lo contrario.

Véase **Aritmética; Conjuntos, teoría de; Estructura matemática; Geometrías; Lógica matemática; Matemática; Modelo matemático**

Microanálisis

El progreso de la ciencia médica ha dado lugar a una mejora de las condiciones de vida de millones de personas en todo el mundo. En el campo de la Medicina diagnóstica —que se ocupa de averiguar qué enfermedades afectan al hombre basándose en la ausencia o presencia en su organismo de determinados productos químicos—, el *microanálisis* ha sido uno de los más importantes progresos tecnológicos. Dicha técnica, que permite a médicos y técnicos tomar pequeñas cantidades de tejido y someterlas a análisis con fines diagnósticos, está todavía en fase de evolución. Originariamente desarrollada a partir de los métodos tradicionales de la Química física, el moderno microanálisis —o, como a veces se le denomina, la *microquímica*— se ha automatizado y perfeccionado en nuestros días a un nivel impensable sólo hace una veintena de años.

Orígenes del microanálisis Hasta los últimos años del siglo XVIII las propiedades de los elementos químicos no estaban en su gran mayoría sistematizadas; para fundar la Química analítica moderna fue necesario que pasaran 70 años más.



Fotografía y esquema de un analizador centrífugo para el análisis automático de la sangre y de los alimentos. El sistema consiste en una centrifugadora en cuyo rotor se sitúan los recipientes donde tiene lugar la reacción

enzimática o colorimétrica de la sustancia que ha de determinarse. Una vez que la reacción ha tenido lugar, un espectrofotómetro incorporado determina la absorbencia del compuesto así formado. Los datos son transformados en valores de concentración gracias a un microelaborador interno, y se registran en el certificado de análisis.

Los químicos, que trataban de situar en un orden lógico el conjunto caótico de conocimientos que entonces poseían, comenzaron a desarrollar métodos analíticos que les permitiesen determinar con seguridad qué sustancias estaban presentes en la composición de una muestra dada.

Los primeros métodos analíticos necesitaban grandes cantidades de material para su examen: cabellos, tejidos o sangre, por ejemplo. Estas muestras, trozo a trozo, eran disueltas en un recipiente o en una probeta, a la que se añadía una secuencia determinada de ácidos y de bases. Mediante este procedimiento los químicos trataban de hacer deducciones sobre la sustancia en examen.

El mayor problema de este método era el hecho de que requería una gran muestra para ser sometida a análisis, ya que se necesitaba efectuar una serie completa de pruebas. Además, cuanto mayor era el número de pruebas, mayor era la posibilidad de contaminación. Cuando las pruebas habían sido completadas, era necesaria una fase de deducción: "Esta sustancia contiene un exceso de x, dado que ha reaccionado a las pruebas a, b, c y d de este modo".

En el caso particular de pacientes muy enfermos tal método era a menudo ineficaz y cruel, ya que precisaba la extracción de cantidades considerables de tejidos, y a menudo necesitaba repetir las pruebas a causa de las alteraciones provocadas por la contaminación de la muestra y se requerían semanas para tener los resultados.

Microanálisis moderno Entre los elementos más importantes con que cuenta el moderno microanálisis están la centrifugadora, los espectrofotómetros de emisión y los de absorción atómica.

En la centrifugadora las muestras se colocan en contenedores cerrados herméticamente que se hacen girar a grandes velocidades, de manera que la fuerza centrífuga facilita la sedimentación. Esto permite a los investigadores tomar una cantidad extremadamente pequeña de tejido o de fluido y separarlo rápidamente en diversas fracciones. Los sólidos en suspensión en los líquidos precipitan o se separan fácilmente de la solución; los líquidos de distinto peso molecular forman estratos que hacen fácil un ulterior análisis; con cantidades muy pequeñas de muestra pueden obtenerse concentrados.

Los espectrómetros de llama toman las muestras —con frecuencia, aunque no siempre, después de la centrifugación— y analizan sus partes constitutivas. Una sustancia quemada a temperaturas que se aumentan gradualmente produce gases de diferente composición, que se registran por el revelador del espectrofotómetro. Dado que cada sustancia que se somete a la pirólisis (destrucción por el calor) tiene un "color específico" —su espectro está determinado por la frecuencia de la onda electromagnética que constituye la luz producida con la combustión—, los investigadores son capaces de determinar exactamente el contenido de una muestra examinando su emisión espectrográfica.

También en este caso se puede hacer uso de cantidades de muestra muy pequeñas. Análogamente, los elementos contenidos en la muestra quemada pueden ser determinados mediante absorción atómica.

Nuevas técnicas Como en la mayor parte de los campos de la técnica, los ordenadores han desempeñado un papel fundamental en los más recientes progresos del microanálisis. Dado que con mucha frecuencia los análisis deben ser estudiados y completados mediante la comparación de los resultados con los obtenidos en exámenes anteriores, los ordenadores —que pueden almacenar millones de informaciones y son capaces de llevar a cabo una rápida búsqueda en sus archivos internos según un orden lógico— constituyen una considerable ayuda para los médicos en la utilización de estos instrumentos y métodos.

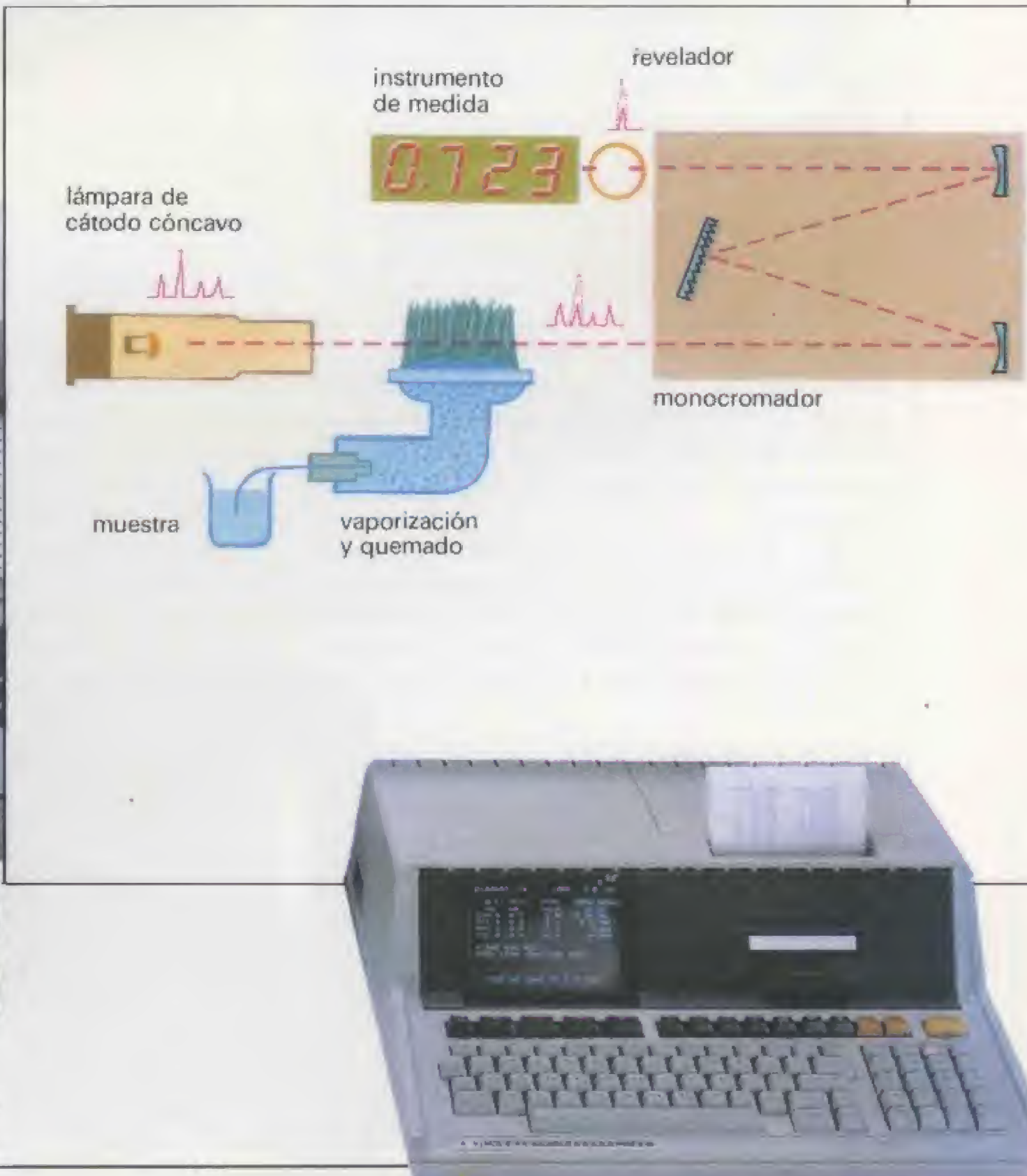
A comienzos de los años sesenta se desarrolló un gran número de aparatos automáticos para el microanálisis, cuyo progreso aún continúa hoy en día. Estos instrumentos son capaces de tomar cantidades muy pequeñas de una sustancia —generalmente sangre u orina—, someterlas automáticamente a una serie de pruebas, y posteriormente registrar el resultado (o, si es necesario, repetir el análisis de nuevo) con frecuencia en menos de cinco minutos.

Véase **Análisis clínico; Centrifugadora; Espectroscopia; Investigación médica**

Espectrofotómetro de absorción atómica para el microanálisis de elementos. Como se observa en el esquema, la llama en la que la muestra es evaporada excita los átomos de los elementos, que emiten una radiación de longitud de onda igual a la emitida por una lámpara de cátodo

cóncavo fabricado del elemento específico y situado en el mismo camino óptico. La radiación es absorbida en proporción a los

átomos excitados del elemento, pasa por un monocromador, es revelada y transformada en datos analíticos.



Microfilme

La palabra *microfilme* evoca posiblemente imágenes de viejas películas de espionaje en las cuales informaciones secretísimas pasaban de un espía a otro en encuentros nocturnos. Sin embargo, aunque el microfilme puede ser utilizado en el mundo del espionaje, este uso constituye una excepción, y son los archiveros y bibliotecarios quienes hacen un uso más extenso de la reproducción de documentos por medio del microfilme.

Historia La primera patente para microfilme se otorgó en 1859. Uno de sus primeros empleos se remonta a 1870, durante la guerra franco-prusiana, en el transcurso de la cual pequeñas tiras de película que contenían importantes informaciones se ataban a las patas de las palomas mensajeras y se enviaban a su destino. Ya en nuestro siglo, el microfilme empezó a tener aplicaciones de mayor importancia a partir de los años veinte, cuando se comenzó a utilizar la película de 16 mm en aplicaciones comerciales (bancos, compañías de seguros, etc.). Desde entonces el uso del microfilme se ha difundido notablemente, siendo, de ordinario, empleado para archivar documentos comerciales, legales y científicos, diseños de ingeniería y arquitectura, etcétera.

Los microfilmes se emplean en las bibliotecas para archivar copias de diarios, de guías, de índices y en otros campos en los cuales resulta ventajoso poder disponer de copias en escala reducida.

Sistemas de microfilmación La microfilmación es una reducción fotográfica de un documento impreso, reproducida en una cinta de película (microfilme) que debe ser agrandada ópticamente para poder ser leída con normalidad. Los microfilmes son generalmente realizados en películas de 16 ó de 35 mm y son reducciones con una relación variable de una décima a una cuarentésima parte de las dimensiones del documento original (una página de un diario microfilmada puede ser reducida a las dimensiones de un sello de correos). Para aplicaciones especiales las páginas pueden ser reducidas ulteriormente empleando películas de alta resolución.

Las cámaras que fotografían los documentos se denominan *microfilmadoras*, y pueden ser de tres tipos: de base plana, de flujo continuo o de salida de ordenador. La microfilmadora de base plana con-

siste en una cámara normal compuesta por un objetivo, un obturador y el mecanismo de arrastre, instalada sobre una mesa mediante un soporte de columna. Las microfilmadoras más usadas son las de flujo continuo, capaces de registrar microimágenes a velocidades de hasta 600 documentos (del tamaño de un talón bancario) por minuto. Los documentos, introducidos mediante un sistema de cinta o tambor, van pasando por el campo fotográfico mientras el microfilme de 16 mm avanza ininterrumpidamente. Las microfilmadoras de base plana y de flujo continuo reproducen microimágenes a partir de datos registrados en papel, mientras que la microfilmadora de salida de ordenador convierte la información que le lle-

Equipo para la lectura y la impresión de microfilmes: arriba puede verse el aparato completo. Abajo, a la izquierda, el mecanismo de introducción de microfichas, con láminas a presión de apertura automática. A su derecha, el teclado de mando y el índice de localización. Bajo estas líneas, salida de una copia en papel: se puede obtener al instante copia de todo lo que aparece en pantalla. También es posible obtener en la pantalla visualizaciones

ampliadas. La realización de los microfilmes se hace con procedimientos de tipo fotográfico. Se usan en general películas con emulsión al clorobromuro de plata, relativamente lentas pero con un poder de resolución elevadísimo. Se pone particular cuidado cuando los documentos a reproducir son muy viejos y están por ello amarillentos: se usa entonces un filtro amarillo (a veces el filtro amarillo está ya incorporado en la emulsión).



ga de una cinta magnética en microimágenes de lenguaje normal, sin que sean necesarias imágenes intermedias en soporte de papel.

Como en muchos procesos fotográficos, la reproducción con microfilme produce una imagen negativa de la cual se pueden obtener copias positivas. La copia del microfilme es examinada con máquinas especiales que proyectan una imagen agrandada (a veces más grande que el original) sobre una pantalla de vidrio esmerilado.

El microfilme hoy Los tipos de copias microfilmadas se pueden conservar en varias clases de *microformas*. Los dos tipos de formato más difundidos son el microfilme sobre rollos y la microficha o microcopia. El microfilme en rollos, de hasta 70 m de longitud, es utilizado ampliamente en las bibliotecas para archivar copias de diarios y de otros documentos que se presentan en serie. Para archivar copias de documentos únicos, el microfilme en rollos puede ser cortado en fotogramas o grupos de fotogramas normalizados, montados posteriormente en fichas que pue-

dan ser luego fácilmente ordenadas y archivadas. Las copias de diseños de ingeniería y arquitectura se conservan de este modo.

La microficha es una reproducción en escala reducida sobre un folio transparente de película que mide aproximadamente 7,5 por 12,5 centímetros. Sobre la microficha cada página de documento a reproducir es reducida a un pequeño rectángulo sobre el folio de película. Generalmente, una microficha puede contener de 60 a 70 páginas de información. Las copias en las microfichas pueden leerse con máquinas de proyección análogas a las utilizadas para el microfilme en rollos.

Las ventajas del archivo en microfilme son numerosas. El microfilme es compacto y fácil de conservar, y resulta por sí mismo poco costoso.

La cantidad de informaciones que cada año se confía al papel impreso continúa aumentando cada vez más y aun las bibliotecas más grandes y modernas están comenzando a tener problemas de espacio, mientras que las más antiguas no tienen prácticamente espacio para nuevas adquisiciones. Microfilmar los documen-

tos es la mejor solución a este problema. Actualmente, el microfilme es utilizado principalmente para archivar documentos deteriorables (como los diarios) y material que ocupa mucho espacio, estorba o es raramente consultado; pero en los próximos años podrá constituir el sistema normal de archivo de las colecciones de todas las bibliotecas. No obstante las ventajas señaladas, el microfilme presenta algunos inconvenientes. Las exigencias respecto a las condiciones del ambiente de un archivo de microfilmes son más estrictas que las que se requieren para las copias en papel, desde el momento en que el microfilme debe estar protegido de los cambios de temperatura, de la humedad, del polvo y de los agentes contaminantes. Sin embargo, conservadas con cuidado, las copias en microfilme pueden durar mucho tiempo, garantizando así que los documentos más importantes de nuestro tiempo puedan ser consultados fácil y rápidamente por las generaciones futuras.

Véase **Bibliotecología; Fotografía; Información**

Bajo estas líneas, esquema de un impresor continuo para ampliación de microfilmes, con un procedimiento de tipo xerográfico. Aunque fue patentado en 1859, el microfilme ha encontrado amplia aplicación a partir de los años veinte de nuestro siglo, en que los bancos comenzaron

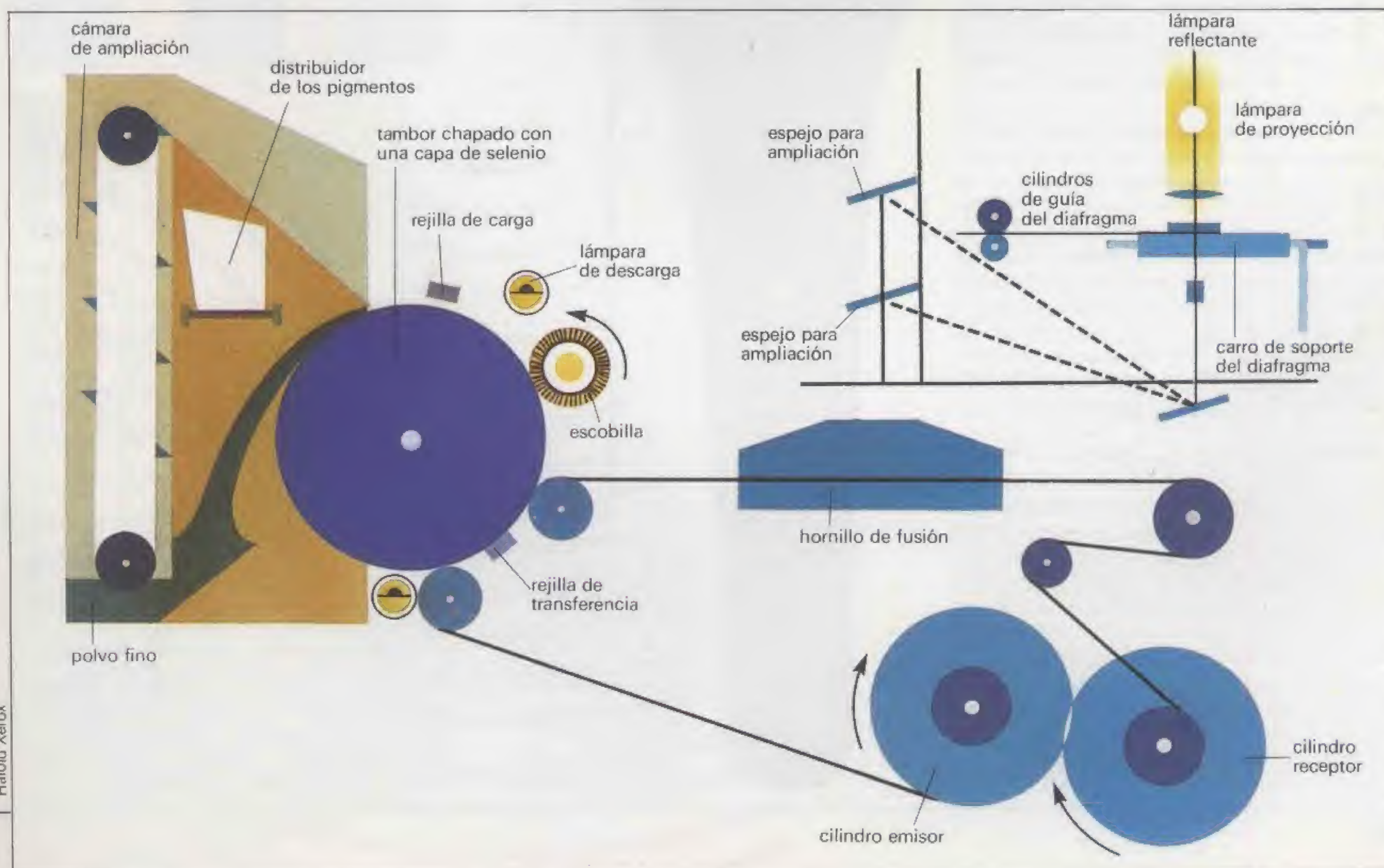
a utilizarlos para conservar copias de los cheques. Desde entonces el uso del microfilme ha ido continuamente ampliándose dadas las indudables ventajas de este procedimiento, que permite archivar los documentos en un espacio muy pequeño en comparación con el necesario para los

documentos en papel: así, la página de un diario puede ser perfectamente reducida a las dimensiones de un sello de correos. Las reducciones más utilizadas son de 10:1 a 20:1, pero con procedimientos específicos se puede conseguir reducciones de hasta 150:1

(ultraficha). El poder resolutivo de las películas utilizadas para microfilmarse puede alcanzar hasta las 200 líneas por milímetro. Una vez realizado, el microfilme puede ser conservado en diversas formas, según los usos que se prevean. Se puede conservar la película en rollos o en cintas o también los

fotogramas separados, que pueden ser montados en cualquier tipo de soporte que facilite su identificación y consulta. Entre los sistemas más utilizados están las fichas (sistema Minicard) dotadas de una ventana a propósito para la visualización; fichas

en las cuales los fotogramas se disponen en grupos (sistema Microcard); finalmente, pedazos de película del mismo formato de las microcard y que contienen grupos de fotogramas (son éstas las llamadas *microfichas*). Todas ellas muy manejables y fáciles de ordenar.



Micrófono

Dos botes de lata unidos con un trozo de hilo se pueden considerar dos micrófonos, aunque puede no ser el modelo ideal. Después de quitar la tapa de cada bote y hacer un agujero en el fondo, se unen ambos botes con un hilo. Al sujetar entre dos personas los botes de forma que el hilo esté tenso y hablar en uno de ellos, la energía acústica de la voz hará vibrar el fondo del bote. La vibración se transmite al hilo y éste la transmite al otro bote, cuyo fondo vibrará de una forma parecida a como lo ha hecho el del primero. Cuando estas vibraciones alcanzan el oído de la persona que sujeta el segundo bote, se transforman en sonido. Seguramente dicha persona oír una reproducción distorsionada de la voz y, si está a más de 6 metros, es muy posible que no entienda nada. Aunque este dispositivo sea muy rudimentario, ilustra básicamente el principio de funcionamiento del micrófono.

Principios de funcionamiento El sonido es el resultado de la compresión y expansión que sufren las moléculas de aire en su movimiento casual. Esto sucede cuando, por ejemplo, se dan golpes o se grita. Las moléculas de aire se agrupan por la compresión que reciben y como reacción se expanden. El sonido es el resultado de los cambios de presión de estas moléculas de aire; en las zonas donde las moléculas de aire están muy cercanas unas de otras la presión es más alta, mientras que donde están más separadas, la presión es menor. Las ondas sonoras se pueden propagar en cualquier medio material, gas, líquido o sólido, mientras que no se pueden transmitir en el vacío. En el micrófono rudimentario de bote, la presión de la voz mueve las moléculas de aire en el bote, provocando la vibración del fondo. Esta vibración, transmitida a través del hilo, llega al otro bote y hace que vibren las moléculas de aire en su interior. La clave del funcionamiento de este sistema está en que el primer bote convierte la energía acústica en energía mecánica y el segundo convierte de nuevo la energía mecánica en sonido. Un micrófono de este tipo no resulta muy eficaz, porque la energía mecánica no se puede aumentar, amplificar o en cualquier caso modificar. En cambio, los micrófonos actuales convierten la energía acústica en energía eléctrica, que sí puede modificarse.

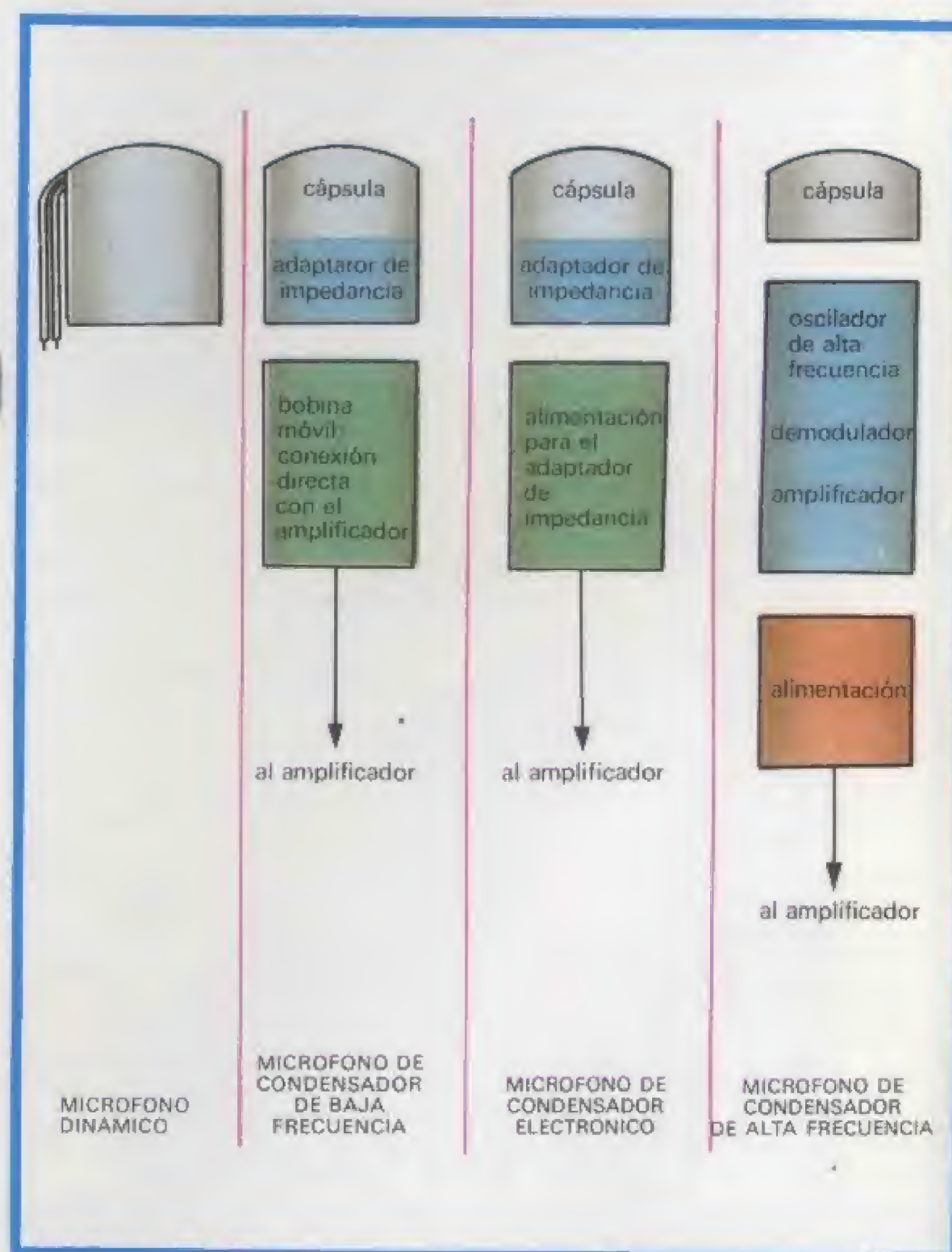
Principales tipos de micrófono El tipo de micrófono más simple es el de carbón, donde la presión sonora procedente de la voz (o de un instrumento musical u otra fuente) hace vibrar el diafragma, un disco metálico muy fino. Las vibraciones pasan a un componente llamado *cápsula*, que es un pequeño cilindro lleno de gránulos de carbón en contacto entre ellos. El carbón transmite la electricidad, aunque peor que un metal como el cobre. Al hablar delante del micrófono, los gránulos de carbón del cilindro se comprimen en función del aumento instantáneo de la presión del aire

y se expanden al disminuir ésta. Cuando están comprimidos, los gránulos de carbón conducen la electricidad mejor que cuando se expanden, de forma que la resistencia eléctrica de la cápsula del micrófono varía dependiendo de las ondas sonoras que alcanzan el diafragma. Haciendo que esta resistencia variable controle el flujo de corriente en el circuito donde está el micrófono de carbón, la energía acústica se convierte en energía eléctrica. La señal eléctrica se puede mandar a un amplificador, aparato que amplifica la energía de la señal original. Sin embargo, en algunas aplicaciones, como el servicio telefónico local, la señal de salida de un micrófono de carbón puede ser lo suficientemente elevada para no necesitar la ayuda de un amplificador.

Un tipo de micrófono más sofisticado es el *micrófono dinámico*, del que existen dos variantes. El micrófono de *cinta* está formado por una tira fina y rígida de cinta metálica (duraluminio), normalmente de 5 a 10 cm de largo y 6 mm de ancho, colocada entre los polos de un imán. Como la cinta se encuentra dentro del campo magnético, genera una tensión eléctrica al mo-

verse por la presión de las moléculas de aire. Los micrófonos de cinta tienen, además, un transformador, que eleva la pequeña tensión de la señal eléctrica inducida en la cinta antes de llegar al amplificador. El micrófono de cinta es mucho más sensible y proporciona una fidelidad mayor que el micrófono de carbón, pero no puede recoger la energía acústica procedente de los lados. Otra desventaja de este tipo de micrófono es la delicadeza de la cinta, por lo que no es apto para recoger sonidos fuertes o para ser utilizado al aire libre, donde el viento lo podría dañar fácilmente.

El micrófono de *bobina móvil* es una variante del micrófono de cinta. La bobina, formada por varias vueltas de hilo conductor y adosada a un diafragma de plástico, es mucho más larga que la cinta, obteniéndose un aumento de la tensión inducida y por tanto una salida mayor para el mismo nivel sonoro de entrada. El micrófono dinámico de bobina móvil es, probablemente, el tipo de micrófono actualmente más utilizado, debido a que es resistente, seguro y puede captar una amplia gama de sonidos.



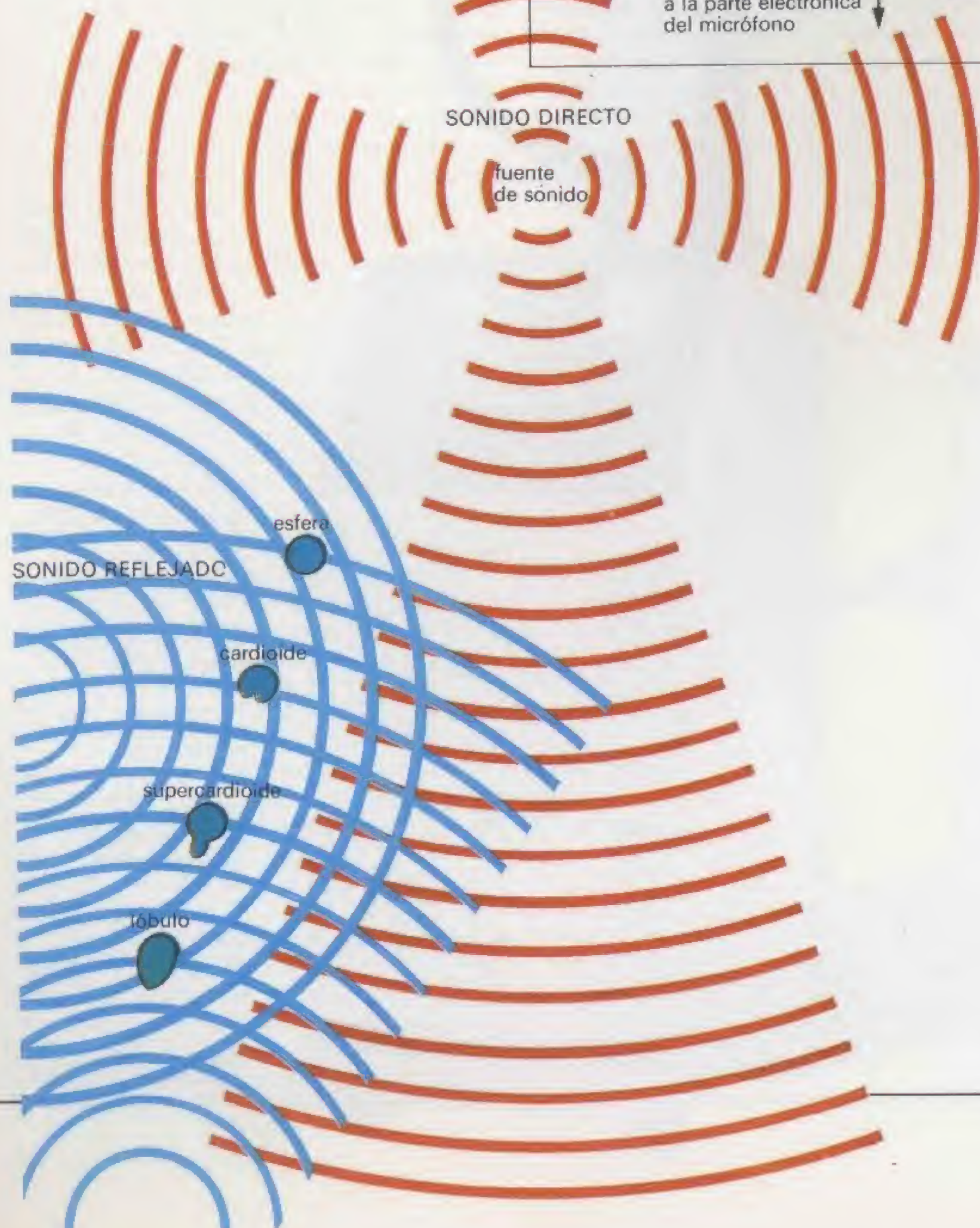
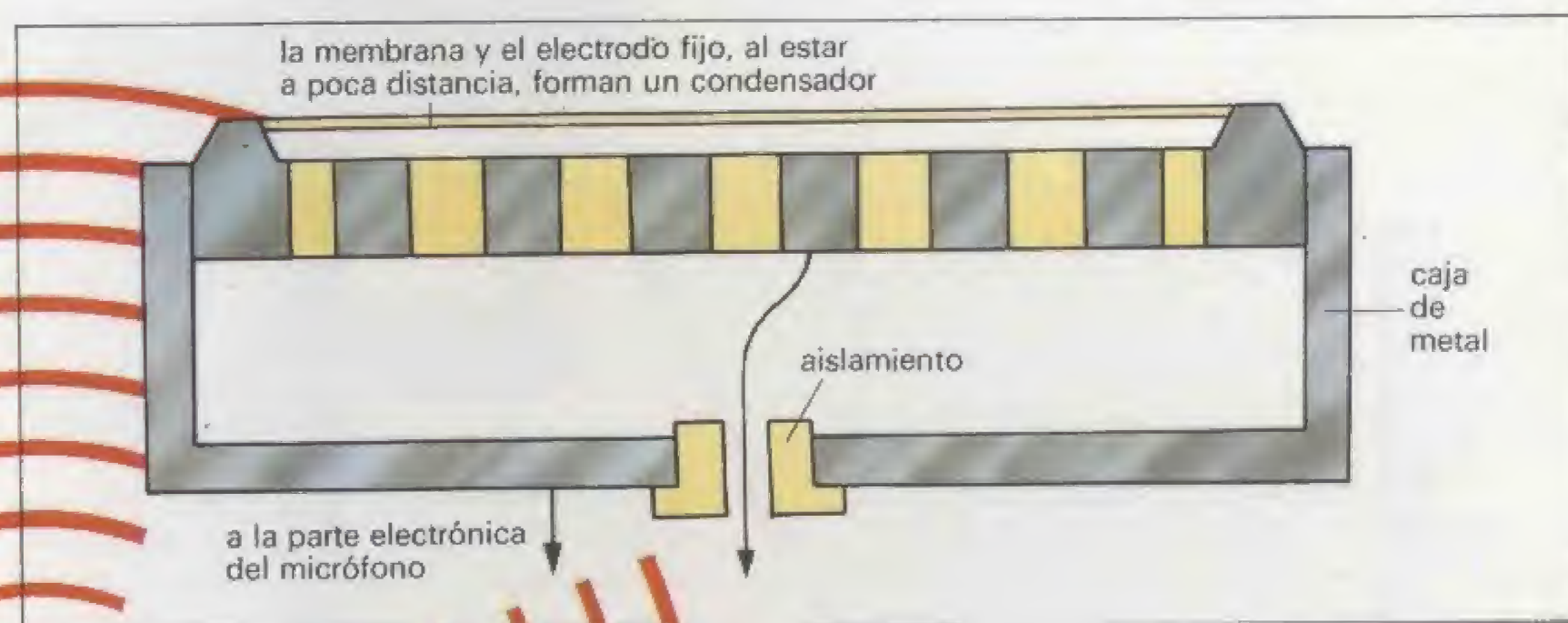
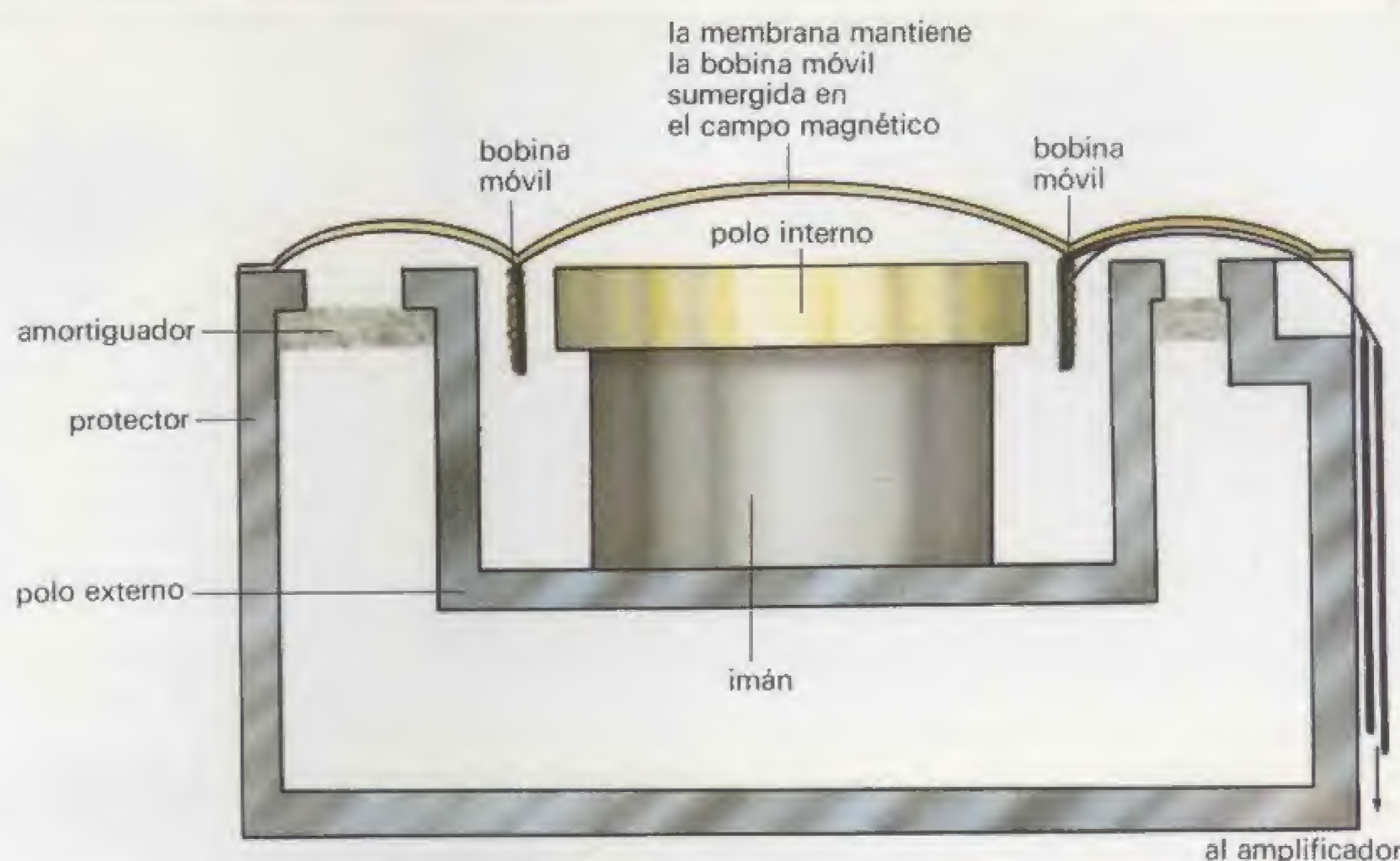
En los esquemas de bloques de arriba se han resumido los distintos principios de funcionamiento de los micrófonos. Destacan especialmente las diferencias entre el funcionamiento del micrófono de condensador de baja frecuencia (descrito en

el centro de la página siguiente), el de condensador electrónico (variante del tipo de baja frecuencia) y el de condensador de alta frecuencia, de uso profesional, con el que se obtiene una reducción del ruido de fondo. Si una fuente

de sonido se encuentra en un ambiente cerrado, las ondas sonoras se reflejan en las paredes: el micrófono puede captar ondas directas y ondas reflejadas. La distancia desde la fuente de sonido al punto en que se capta con la misma

Otros tipos de micrófonos son los *piezoeléctricos* (de cristal) y los *de condensador*. El primer tipo aprovecha el efecto piezoeléctrico, fenómeno que se produce cuando ciertos cristales sometidos a presiones —como puede ser una onda sonora— producen una tensión eléctrica proporcional a la presión. Los micrófonos de condensador, en cambio, convierten el sonido en señales eléctricas utilizando un

→ intensidad el sonido directo y el sonido reflejado se llama *distancia de equilibrio* (en esta página, abajo, se pueden ver los valores para cuatro tipos de micrófono); en esta distancia la relación entre sonido directo y sonido reflejado es igual a 1.



diafragma flexible, cargado eléctricamente y situado paralelo a una superficie fija y también cargada. Cuando las ondas sonoras alcanzan el diafragma, hacen que se mueva respecto a la placa fija, variando el flujo de corriente eléctrica entre los bornes de la placa y el diafragma.

Véase **Acústica; Alta fidelidad; Sonido**

En la grabación de sonido el micrófono de bobina móvil es el de mayor difusión. El primero de los dibujos de arriba describe su funcionamiento. Junto a la membrana hay una bobina de hilo de cobre que se mueve en un campo magnético. La membrana se mueve por la fuerza que ejercen las ondas sonoras y en consecuencia se mueve también la bobina. Este movimiento genera en sus extremos una tensión eléctrica que, a través de un cable fino, unido después a otro más resistente, llega hasta un mezclador o un aparato de grabación. El micrófono de condensador (cuyo funcionamiento se

describe debajo) está formado por un condensador de electrodos planos, de los que uno se puede deformar (membrana) por efecto de la presión sonora. La vibración de la membrana produce una variación de la capacidad del condensador, que se traduce en variaciones de tensión. El micrófono de condensador tiene una buena respuesta en frecuencia, pero, debido a su elevada impedancia, no es aconsejable conectarlo a un amplificador con cables largos. Con un adaptador de impedancia, situado lo más cerca posible del micrófono, se puede evitar este inconveniente que limita su uso.

Micromanipulación

En casi todos los campos de la tecnología y de la ciencia, las técnicas modernas nos han habituado a ver, modificar y efectuar cosas que en otro tiempo eran invisibles o, por lo menos, no manipulables. El primer campo de la ciencia en el que esta tendencia ha llegado a ser evidente ha sido el de la Biología, con la invención del microscopio: el desarrollo de instrumentos que permiten trabajar con materiales biológicos bajo control microscópico ha llevado a la técnica de la *micromanipulación*, mediante la cual las células pueden ser seccionadas, trasplantadas y marcadas por medio de instrumentos de trabajo con puntas de diámetro microscópico. Estas técnicas han sido aplicadas, además, en la fabricación de microcircuitos electrónicos y de dispositivos mecánicos de precisión.

Elementos de micromanipulación En el campo de las aplicaciones biológicas, el primer instrumento necesario para la micromanipulación es un *microscopio* con una buena iluminación y con una amplia platina sobre la que disponer las diferentes muestras.

De igual importancia son los *microposicionadores*. Estos instrumentos transforman el impreciso pulso de la mano del hombre en los precisos movimientos necesarios para operar en las células.

Finalmente, son también necesarios los *microutensilios*, montados sobre los microposicionadores, con los que se llevan a cabo las operaciones.

Con frecuencia, los microscopios utilizados en la micromanipulación han sido específicamente diseñados con una gran platina en donde se puedan disponer las

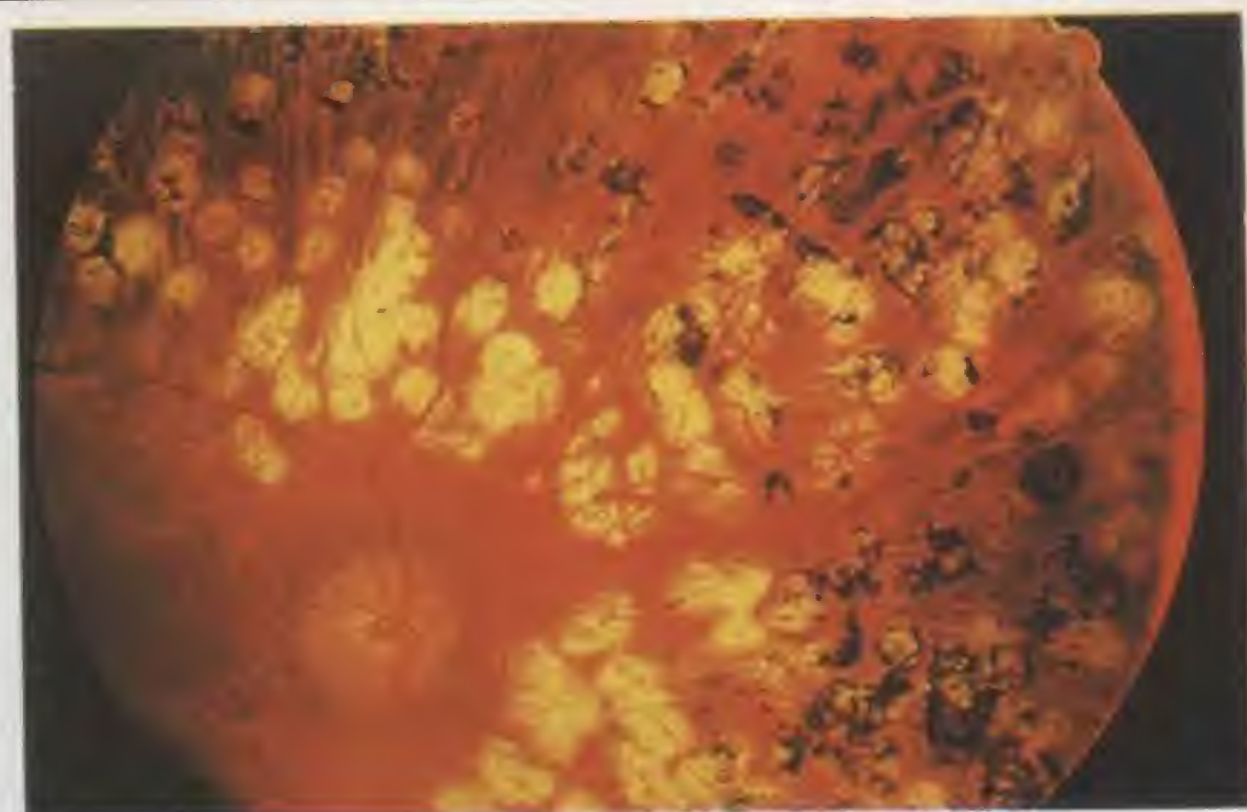
muestras entre el sistema de iluminación y el objetivo del microscopio. Las células vivientes se conservan normalmente en una solución líquida en recipientes especiales del microscopio, donde se mantienen vivas y con el grado adecuado de humedad.

Los microposicionadores son los elementos más importantes de cualquier sistema de micromanipulación. Se trata de unos pequeños tornillos, con frecuencia más pequeños que el dedo meñique, unidos a un complejo mecanismo de engranajes que puede desplazar los microposicionadores con movimientos extremadamente pequeños y precisos. Los microposicionadores sostienen los microutensilios, los cuales realizan las operaciones propiamente dichas sobre las células, tales como cortes, inyección y

A la izquierda, equipo utilizado en microcirugía. Estos instrumentos permiten llevar a cabo intervenciones de microcirugía con la máxima precisión y seguridad y encuentran su principal aplicación en el campo de la cirugía del ojo.



En la parte superior de la página siguiente, detalle del microscopio operatorio y del micromanipulador. El microscopio operatorio posee un objetivo con una distancia focal tal que permite la utilización de instrumentos quirúrgicos. Abajo, el sistema de micromanipulación. Arriba, fotografía al microscopio de la retina sometida a una intervención de microcirugía con láser. En Oftalmología esta técnica se aplica en casos de retinopatía diabética, desprendimientos de retina y en el tratamiento del glaucoma y de los quistes del iris.



marcaje de tejidos. Estos posicionadores deben, como es lógico, ser instrumentos excepcionalmente seguros, fiables y adecuados. Los primeros microposicionadores eran accionados por un mecanismo de tornillo—un giro de un tornillo correspondía a una determinada longitud de avance—, pero actualmente se utilizan controles mecánicos de todos los tipos, incluidos los sistemas hidráulicos y neumáticos. Los microposicionadores controlados por ordenador están siendo utilizados en la actualidad de una manera creciente. Todos los microposicionadores, independientemente de su tipo, tienen la posibilidad de mover los instrumentos unidos a ellos de un modo seguro en el espacio tridimensional, cualquiera que sea el método utilizado para accionarlos.

Los microutensilios que se usan en la micromanipulación son muy similares a los habituales instrumentos empleados en la investigación biológica, si bien son de un tamaño mucho más pequeño. Con frecuencia están fabricados en vidrio y comprenden instrumentos como bisturíes, agujas, pipetas, ganchos y pinzas.

Los microutensilios frecuentemente tienen unas dimensiones inferiores a las de un cabello, de manera que puedan realizar con la seguridad adecuada las distintas operaciones sobre las minúsculas estructuras celulares.

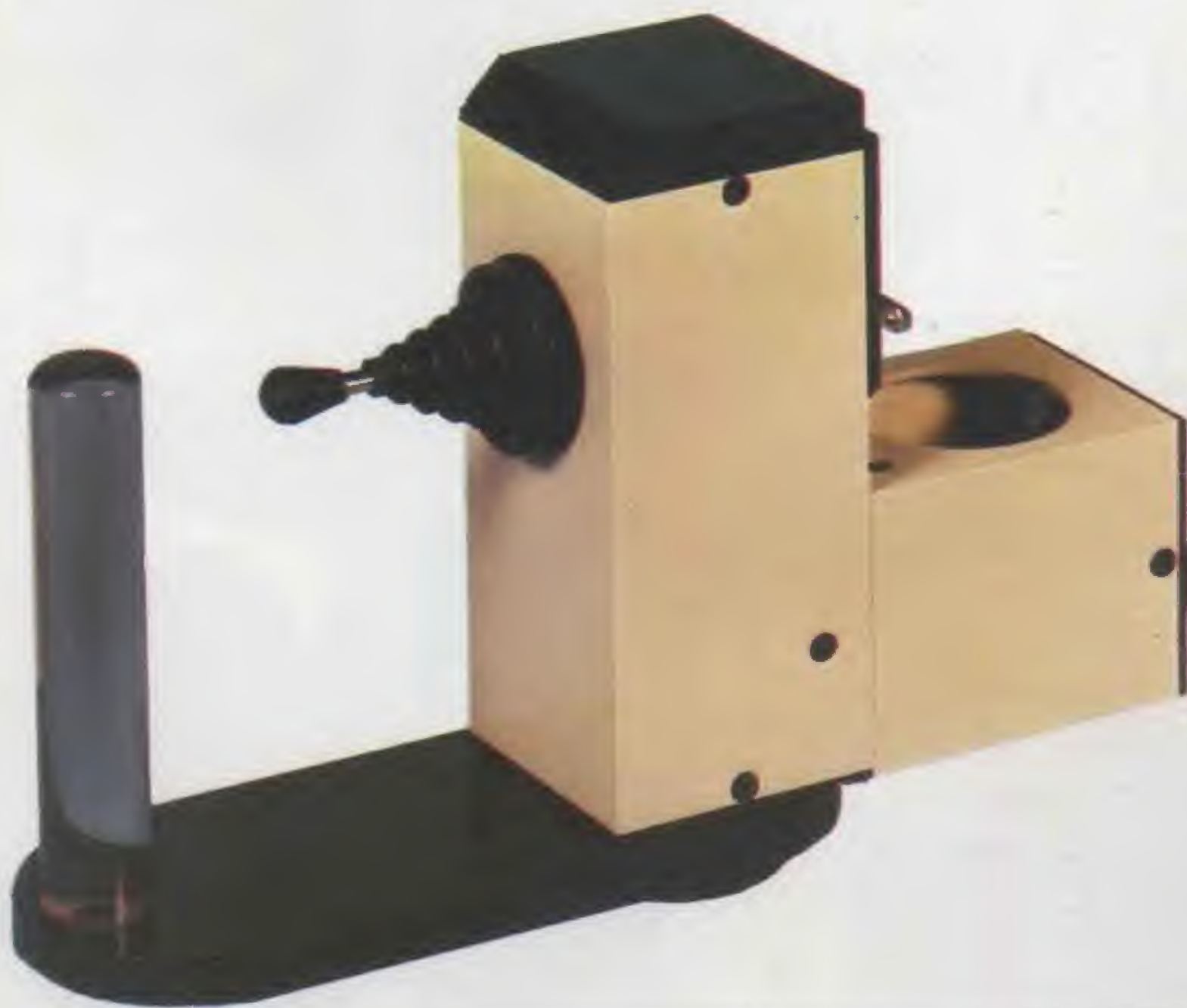
Tendencias modernas de la micromanipulación Aunque los elementos fundamentales de la micromanipulación se remontan al año de 1859, en que fueron catalogados por vez primera por Oskar Schmidt en el *Seccionador Microscópico*,

la tecnología ha cambiado en el mismo sentido que lo ha hecho la finalidad de la micromanipulación. El desarrollo en los conocimientos médicos actuales ha posibilitado la aplicación de las técnicas de micromanipulación a las investigaciones sobre el cáncer y a determinadas técnicas quirúrgicas, de una manera especial a la cirugía ocular y a la cirugía de las fibras nerviosas lesionadas.

Finalmente, la utilización del láser en la investigación y en la cirugía ha conducido a un nuevo tipo de micromanipulación. Un láser puede ser regulado para realizar incisiones de dimensiones menores de las que podrían efectuarse con el bisturí más fino, y su recorrido puede ser controlado por un ordenador con objeto de tener una mayor seguridad que la que se tiene habitualmente con cualquier otro instrumento. La micromanipulación con el láser es, por otro lado, utilizada en la cirugía oftalmológica para restablecer la vista en los pacientes afectados de cataratas.

Las aplicaciones dentro del campo de la investigación no biológica comprenden el estudio y manipulación de cristales y fibras, la separación y la purificación de elementos raros y la medición de sustancias extremadamente minúsculas.

Véase *Cirugía; Microscopio; Microscopio electrónico*



Microondas

Utilizando como soporte un rayo invisible de microondas, se puede transmitir simultáneamente cientos de conversaciones telefónicas. Desde que en los años treinta empezaron a utilizarse estas ondas electromagnéticas, su campo de aplicación se ha ido ampliando: sistemas de radio para comunicaciones militares, satélites de telecomunicaciones, aparatos de radar, aparatos de calefacción y numerosas aplicaciones científicas utilizan cada vez más las microondas.

El término *microondas* se empezó a usar para designar las ondas más cortas que las utilizadas hasta entonces, cuyas longitudes eran del orden de metros. Las microondas, en cambio, varían entre longitudes de 30 cm y 1 mm y ocupan una región del espectro electromagnético

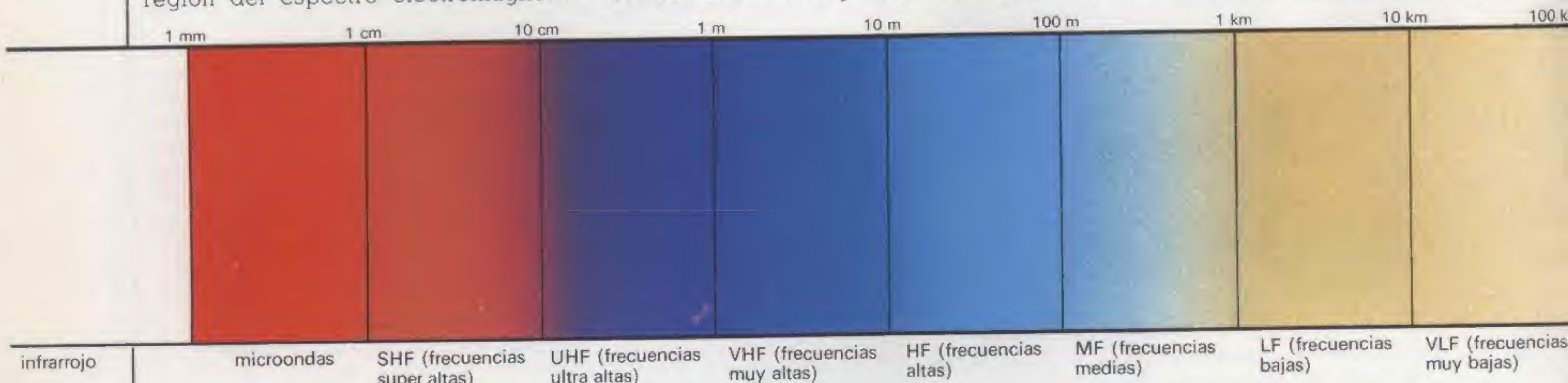
cen las aberturas de las cavidades en intervalos establecidos. De esta manera empiezan a oscilar las cavidades, los electrones acaban volviendo al cátodo a través de la fuente de alimentación y el proceso se repite.

Sin embargo, el magnetrón tiene algunas limitaciones: en las frecuencias más altas, las cavidades necesarias para que se produzcan microondas son demasiado pequeñas como para poder ser fabricadas y el peso del imán utilizado en el magnetrón hace que sea poco práctico para algunas aplicaciones.

En cambio, el *klistrón* no necesita un campo magnético externo. En este tubo los electrones siguen una trayectoria recta desde el cátodo hasta una placa que los rechaza hacia atrás, pasando dos veces

por la abertura de la cavidad. La corriente de electrones está controlada por rejillas situadas en la cavidad, de forma que la atraviese sólo en determinados intervalos. El flujo de electrones está sincronizado de esta forma con la frecuencia de resonancia del tubo, proceso que se puede comparar al recorrido que realiza una corriente de aire enviada por un tubo de órgano para que resuene. El resultado es que la *energía cinética* de los electrones —y en consecuencia su radiación electromagnética—, se amplifica hasta un valor muy elevado.

Transmisión de las microondas Las microondas se pueden radiar, enfocar y reflejar más o menos como la luz. Igual que ésta, viajan en línea recta, sin seguir

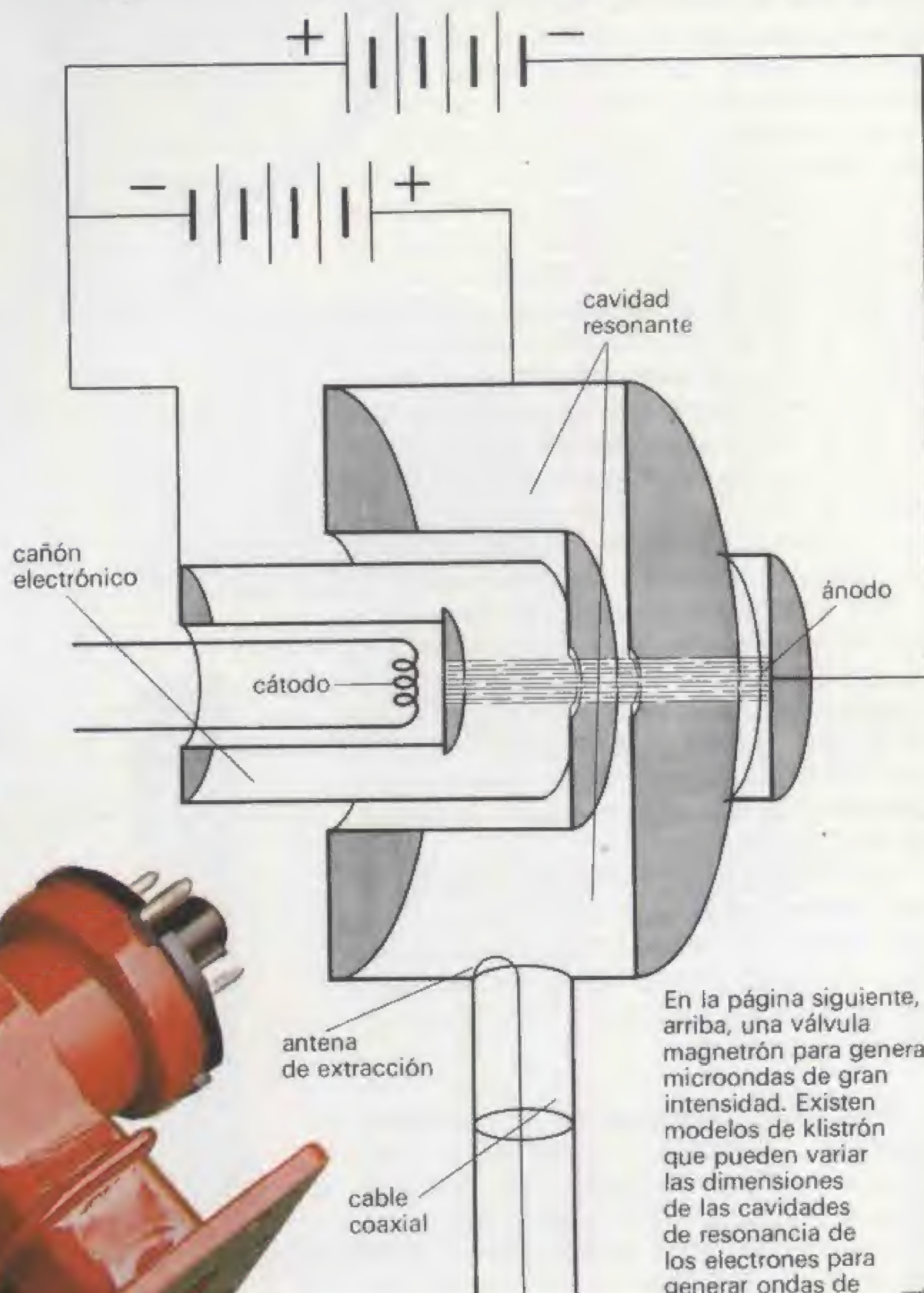


comprendida entre las ondas de transmisión de televisión en UHF (frecuencias ultraaltas) y las ondas infrarrojas, banda de frecuencias entre 1.000 millones y 300.000 millones de hertz o ciclos por segundo (1.000 millones de hertz = 1 gigahertz).

Cómo se generan las microondas Las fuentes de microondas más utilizadas son el magnetrón y el klistrón, dos tipos de tubos que producen oscilaciones eléctricas con principios diferentes.

El *magnetrón* está formado por varios tubos o cavidades que rodean a un cátodo central (o electrodo negativo). Como el magnetrón está situado entre los polos de un potente imán, cuando el cátodo emite electrones, la fuerza del campo magnético hace que los electrones recorran una trayectoria circular, de forma que alcan-

En un laboratorio, cuando se necesitan pequeñas intensidades, las microondas se pueden generar con la válvula klistrón. Bajo estas líneas, fotografía de un modelo comercial y, a la derecha, al lado, el esquema de su funcionamiento. El cátodo emite un haz de electrones que se dirigen hacia el ánodo (placa). Antes atraviesan una cavidad donde pequeñas variaciones de su propia corriente generan oscilaciones que producen ondas de alta frecuencia. Las microondas se pueden sacar al exterior con un cable coaxial (ver abajo).



Arriba, el espectro de radiaciones electromagnéticas, donde se puede ver la posición de las microondas. Los espectros son muy útiles para entender la situación de la banda de frecuencias que interesa, pero no ilustran los mecanismos naturales de una banda ni los aparatos utilizados en la práctica. En la Naturaleza las microondas se producen por oscilaciones de plasma

(por ejemplo, en la superficie de las estrellas) o bien por emisión térmica, como una parte de la radiación del cuerpo negro.



En la página siguiente, arriba, una válvula magnetrón para generar microondas de gran intensidad. Existen modelos de klistrón que pueden variar las dimensiones de las cavidades de resonancia de los electrones para generar ondas de



distinta frecuencia. En cambio, en el magnetrón las ondas se generan por oscilaciones en pequeñas cámaras resonantes de dimensiones fijas y cada modelo está pensado para obtener una sola frecuencia. El magnetrón se utiliza como generador de ondas de los aparatos de radar, y el klistrón, en los instrumentos científicos (como, por ejemplo, los espectrofotómetros para el estudio de la estructura de las moléculas). La posibilidad de dirigir las microondas en haces depende de la relación entre la dimensión de los reflectores de enfoque y la longitud de onda. Aquí debajo, la gran parábola de una antena en un sistema de comunicaciones vía satélite. Con longitudes de onda de centímetros se obtienen haces bastante concentrados. Además, la ionosfera es transparente para estas longitudes de onda.

electrónicamente tienen muchos elementos pequeños, y dependiendo de su conexión se puede hacer que la antena sea sensible a cualquier dirección deseada. Este tipo de antenas tiene la ventaja de que no necesita movimientos mecánicos.

Aunque los sistemas de transmisión en microondas, formados por antenas transmisoras y receptoras situadas en torres, necesitan fuertes inversiones de capital, la capacidad que tienen de transmitir simultáneamente miles de conversaciones telefónicas y algunos canales de televisión reduce notablemente el coste unitario.

Las microondas tienen una gran variedad de aplicaciones. Además de su utilización en el campo de las telecomunicaciones (tanto aéreas como terrestres), su empleo abarca aplicaciones industriales y científicas como la investigación en los campos nuclear y espacial. Recientemente, el horno de microondas —que puede asar los alimentos en muy poco tiempo sin calentar el aire de alrededor— ha empezado a usarse en muchas casas, aviones, trenes y como horno suplementario en los restaurantes.

Véase Antena; Cable coaxial y guía de ondas; Cuerpo negro; Microondas, horno de; Radar; Radiocomunicaciones; Teléfono; Telemática

la curvatura de la Tierra, y por este motivo sólo se puede hacer transmisiones a largas distancias utilizando "saltos" sucesivos. La transmisión de señales en la banda de microondas necesita una serie de *estaciones repetidoras* situadas en torres o en la cima de las colinas a distancias de aproximadamente 50 kilómetros. En cada estación, antes de volver a transmitirse, las señales se amplifican electrónicamente. Para las transmisiones a través del océano se utilizan *satélites repetidores* activos, que reciben, amplifican y vuelven a transmitir las señales de microondas hacia estaciones terrestres repartidas por todo el planeta.

Los cables normales no pueden transmitir las microondas de manera eficaz. Los *cables coaxiales*, formados por un hilo interno aislado dentro de un conductor cilíndrico llamado *pantalla*, transmiten mejor las frecuencias altas, de hasta algunos millones de hertz. Para frecuencias más altas, correspondientes a las microondas, y grandes potencias se utilizan normalmente guías de ondas.

Las *guías de ondas* son conductos —normalmente de sección circular o rectangular—, por los que viajan las microondas, variando los campos eléctricos y magnéticos en su interior a una frecuencia muy alta.

Las antenas de microondas tienen distintas formas y dimensiones. La direccionalidad se incrementa aumentando el diámetro del reflector de la antena. Las antenas de *bocina* y las antenas *parabólicas* son las más indicadas para recibir señales débiles. Las antenas que se dirigen



Microondas, horno de

Si metemos un pollo entero en un horno de microondas, al sacarlo, después de pocos minutos, estará caliente y humeante, completamente cocido por dentro y por fuera, mientras que tanto el recipiente como el horno estarán todavía a la temperatura ambiente.

Las microondas tienen una longitud de onda que varía entre 1 mm y 30 cm o, de forma equivalente, se puede decir que tienen frecuencias comprendidas entre 300.000 megahertz y algo menos de 100 megahertz (MHz). Las ondas de radio tienen longitudes de onda mayores y frecuencias más bajas, mientras que los rayos infrarrojos tienen longitudes de onda menores y frecuencias más altas.

Las superficies metálicas del horno no se calientan porque su composición cristalina refleja las microondas, mientras que los recipientes de materiales polímeros o

En la base del fenómeno está una característica física de todos los materiales, conocida como *propiedad dieléctrica*. Esta característica se refiere a la capacidad de todos los materiales de transmitir, absorber o reflejar energía electromagnética en distinta proporción dentro del espectro electromagnético. Con otras palabras, todos los materiales pueden absorber, reflejar o transmitir energía electromagnética, dependiendo de la banda del espectro en la que presentan mayor sensibilidad para cada uno de los tres casos.

El agua y los alimentos con alto contenido en agua absorben fuertemente la energía electromagnética en la frecuencia de microondas utilizada en los hornos (2.450 MHz), mientras que a esa misma frecuencia los metales la reflejan y el cristal y el plástico se comportan como transmisores transparentes.

mensiones mayores, que reciben el nombre de *cavidades de resonancia*. Cuando una corriente eléctrica circula por el cátodo y lo calienta hasta aproximadamente 1.600 °C, éste emite electrones. En un tubo de vacío normal el ánodo atraería inmediatamente a los electrones, mientras que en un magnetrón esto no se produce al instante. Este retraso se debe a que los electrones emitidos están obligados a recorrer una trayectoria curva alrededor del cátodo por la fuerza que produce un imán permanente.

La interacción entre el campo eléctrico y el magnético crea una "nube" densa, a modo de rueda, formada por los electrones que giran alrededor del cátodo a una velocidad próxima a la veinteaava parte de la velocidad de la luz. Algunos electrones se separan de la nube y bombardean las cavidades de resonancia, produciendo un efecto parecido al que se obtiene al soplar en el borde del cuello de una botella. Si en este caso se obtiene una señal con una determinada *frecuencia*, que variará dependiendo del tamaño y la forma de la botella, el mismo principio vale para las cavidades de resonancia de un magnetrón, que son de tamaño y forma tales que el "soplido" de los electrones genera microondas de la frecuencia deseada. En otras palabras: el magnetrón ha generado un fuerte campo estable de radiofrecuencia en la banda de las microondas.

Transferencia de las microondas a los alimentos Una antena, situada en una de las cavidades de resonancia, recoge la energía desarrollada en las cavidades. El cable de la antena sale fuera del ánodo y termina dentro de una cúpula cerámica, donde se ha hecho el vacío, y que está situada dentro de una guía de ondas. El extremo libre del cable radia energía electromagnética en forma de campo de radiofrecuencia en la banda de microondas, o, con otras palabras, como energía asociada a las ondas.

La guía de ondas es un conducto metálico con sección transversal rectangular. La función de la guía de ondas es canalizar las microondas hacia la zona del horno donde se debe cocer la comida.

Las microondas pueden ser peligrosas para los tejidos humanos, dependiendo de la longitud de onda. Cuanto mayor es la frecuencia, mayor es la tendencia a quemar la piel y otras partes expuestas, como los ojos. En los hornos de microondas las paredes metálicas impiden que las microondas se propaguen al exterior. Para permitir que el usuario vea la comida mientras se cuece en el horno, se utilizan pantallas de metal perforadas, aunque algunas veces se ha dudado de su eficacia a la hora de frenar la radiación de microondas.



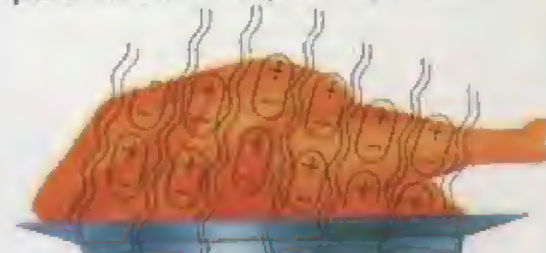
En la secuencia de la derecha, una comida preparada para meterla en el horno (arriba). Si las moléculas que la forman, desde el punto de vista eléctrico, son parejas de cargas opuestas, la onda electromagnética hace que se invierta rápidamente tal

posición (en el centro y abajo). La agitación alterna de las moléculas hace que se caliente toda la masa del alimento. Las microondas (sobre estas líneas) salen del generador y una pequeña hélice las refleja uniformemente sobre la comida.

las moléculas del alimento tienen cargas eléctricas positivas y negativas orientadas en cualquier dirección



la energía de las microondas pasa a través de los alimentos y alinea las moléculas, colocándolas paralelas al campo magnético



con los semiciclos sucesivos las moléculas se colocan en el sentido opuesto



plásticos utilizados para cocinar tampoco lo hacen, pues son *transparentes* a las microondas. Las microondas pasan a través de estos materiales sin alterarlos y alcanzan la comida, de la misma forma que las ondas de radio o de televisión atraviesan las paredes de una casa.

Cómo se produce la cocción de los alimentos Dentro del horno de microondas los alimentos reaccionan de forma diferente a como lo hace el metal o el vidrio. En primer lugar, los alimentos absorben rápidamente la energía de las microondas y, en segundo lugar, mientras se produce este fenómeno, se crean las condiciones necesarias para la conversión de la energía de las microondas en energía cinética a nivel molecular. El calor es en realidad un producto secundario, aunque es de importancia vital para los adeptos a la cocción de los alimentos en la cocina.

Cómo se generan las microondas Un megahertz equivale a 1 millón de oscilaciones o ciclos por segundo. Para generar energía a las frecuencias de las microondas se utiliza, en los hornos domésticos, un tipo de tubo electrónico llamado *magnetron*. Como los demás tubos de vacío, los magnetrones son de forma cilíndrica y tienen en su interior cátodos y ánodos, electrodos cargados positiva y negativamente. A lo largo del eje principal está situado un cátodo termoiónico (terminal metálico que, al calentarse hasta la incandescencia, emite electrones desde su carga externa, formada por varios óxidos). Un anillo anódico concéntrico rodea el cátodo, formando un espacio entre ambos que se utiliza como cámara de interacción. Las paredes internas del anillo anódico tienen cavidades acanaladas situadas a una distancia regular; éstas se encuentran en el interior del ánodo sobre cavidades de di-

Véase **Microondas**

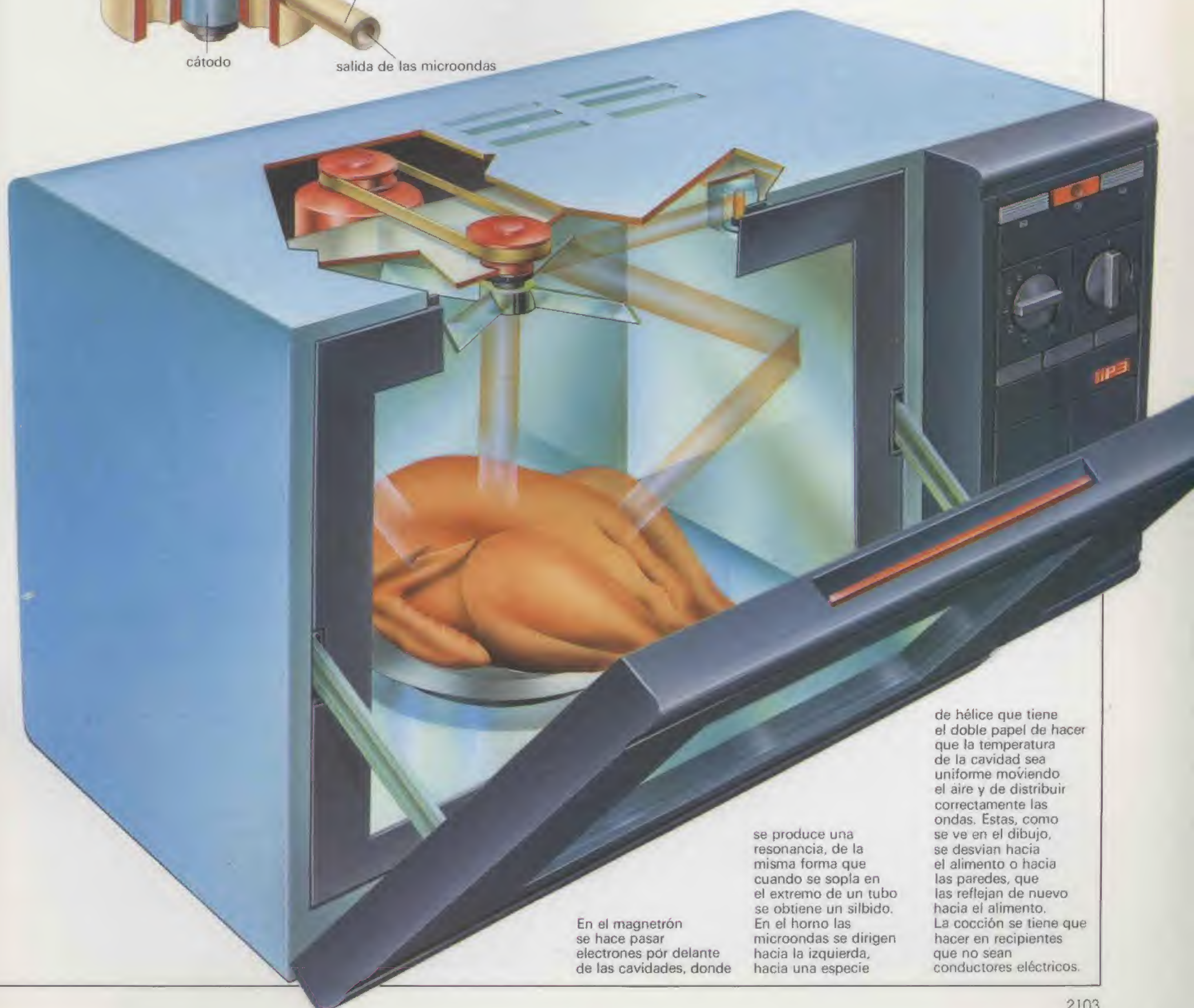
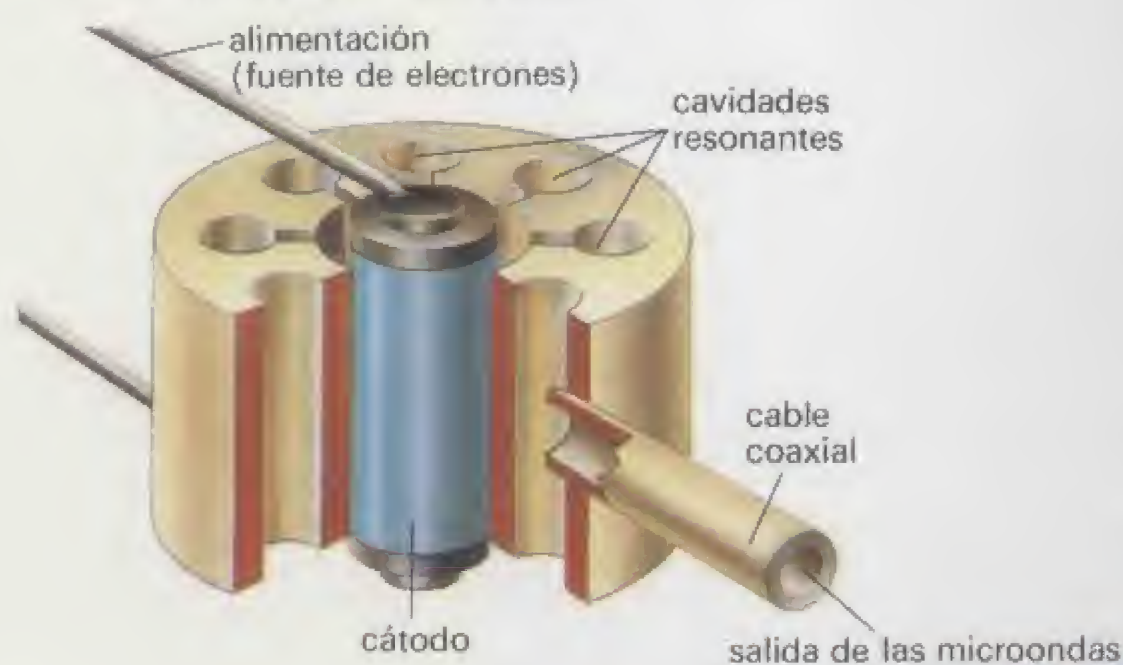
A la derecha, un horno de microondas, donde se han colocado alimentos para que se calienten rápidamente. El horno de microondas es el primer competidor del horno eléctrico, donde la cocción se produce por radiación de

infrarrojos y conducción de calor por el aire. En cambio, en el horno de microondas la cocción se produce por el calor generado en el interior del alimento, en toda su masa. Los tiempos de cocción son mucho más cortos, y el

consumo de energía, mínimo. Debajo, corte de un horno de microondas. En el detalle: generador de la oscilación eléctrica que se radia como onda de alta frecuencia (bajo estas líneas). El generador es un magnetrón.



OSCILADOR MAGNETRON
(generador de microondas)



En el magnetrón se hace pasar electrones por delante de las cavidades, donde

se produce una resonancia, de la misma forma que cuando se sopla en el extremo de un tubo se obtiene un silbido. En el horno las microondas se dirigen hacia la izquierda, hacia una especie

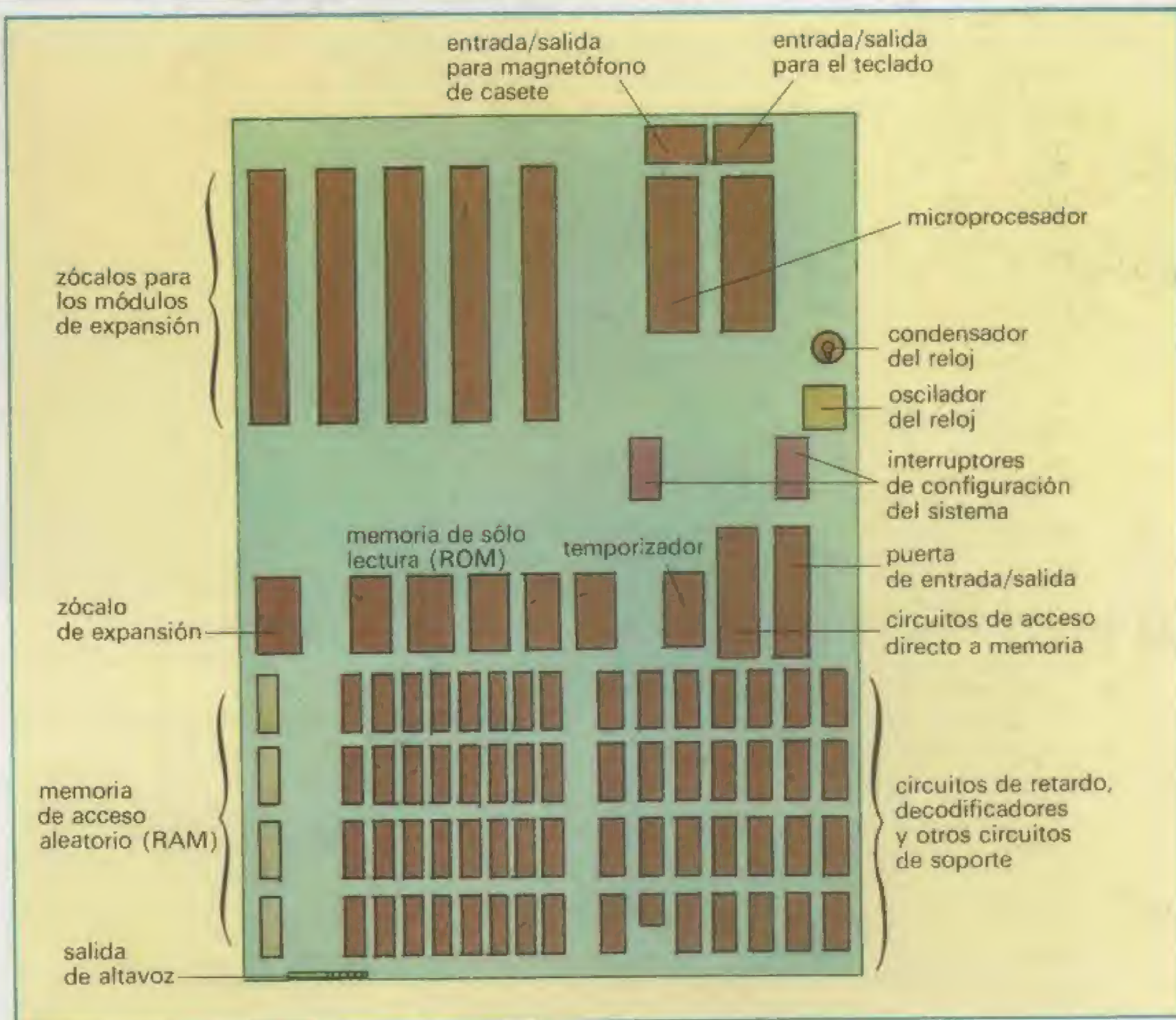
de hélice que tiene el doble papel de hacer que la temperatura de la cavidad sea uniforme moviendo el aire y de distribuir correctamente las ondas. Estas, como se ve en el dibujo, se desvían hacia el alimento o hacia las paredes, que las reflejan de nuevo hacia el alimento. La cocción se tiene que hacer en recipientes que no sean conductores eléctricos.

Microordenador

La era de la electrónica, en la que acabamos de entrar, promete ser tan revolucionaria como la época industrial, que empezó con la invención de la máquina de vapor. Uno de los inventos más importantes dentro de los cambios que han supuesto el paso de la época mecánica-industrial a la nueva época electrónica-informática es el *microordenador*. Construido por primera vez en 1974, el microordenador es el descendiente de los grandes ordenadores de los años cuarenta y cincuenta y de los miniordenadores, ya del tamaño de un fichero, que se introdujeron en los años sesenta. Hacia mediados de los años setenta empezaron a aparecer ordenadores de mesa y a principios de los ochenta ya estaban disponibles los ordenadores portátiles, e incluso de bolsillo, que tenían una potencia de cálculo superior a la de muchos de sus antecesores de dimensiones bastante mayores.

Ordenadores en un solo chip Los elementos básicos de un microordenador están situados en un único *chip* o circuito integrado, es decir, en una plaquita de silicio del tamaño de una uña. Estos elementos están constituidos por miles de transistores y circuitos que se sitúan en la plaquita de silicio mediante técnicas procedentes de la fotografía y el grabado. La estructura básica de un microordenador, en cuanto a sus circuitos integrados, está formada por un microprocesador, una memoria y los circuitos de comunicación con el exterior. El microprocesador es el "cerebro" de la máquina, lo que la caracteriza: ese cerebro realiza las operaciones en función de los datos e instrucciones recibidos y devuelve los resultados a la memoria en el orden apropiado. El microprocesador tiene una unidad de control que sincroniza la secuencia de las operaciones realizadas con los datos y una unidad aritmética y lógica que realiza sumas, restas y operaciones lógicas. La unidad de control y la unidad aritmético-lógica forman conjuntamente la unidad central de proceso (*Central Processing Unit*, o CPU). Otras partes fundamentales en un microordenador son un reloj temporizador, una fuente de alimentación y, sobre todo, la memoria, que almacena los datos de entrada y las instrucciones (programa), así como los resultados intermedios y finales.

Las memorias internas son normalmente de dos tipos: las memorias de sólo lectura o ROM (*Read Only Memory*) y las memorias de acceso aleatorio o RAM (*Random Access Memory*). En el primer tipo de memorias la empresa que las fabrica graba información que el usuario sólo podrá leer, y no borrar o modificar. En las memorias ROM están grabados los programas básicos del microordenador (el "sistema operativo"), que controlan sus actividades fundamentales. Estos programas son imprescindibles para el funcionamiento, pero el usuario no tiene que preocuparse por ellos nunca. Entre ellos está el programa que traduce el lenguaje de programación que utilice en su comunica-



El esquema de la parte inferior de estas páginas representa la estructura de un microordenador rodeado de sus "periféricos" más comunes: los elementos indicados dentro de los bloques del diagrama están normalmente dentro de la unidad central de

la máquina (a veces se pueden añadir después como una opción). Los elementos representados, como la pantalla de video, la impresora, MODEM, etc., suelen ser externos. El MODEM (contracción de MODulador/DEModulador) es un dispositivo que hace

posible la conexión entre ordenadores a través de la línea telefónica normal. La fotografía de la página siguiente presenta la placa de componentes del Computador Personal de IBM, un microordenador de gran difusión, y el diagrama sobre estas líneas indica sus

componentes. El microprocesador es un pequeño *chip*, arriba a la derecha; a su lado hay un "zócalo" libre, cuyo objeto es poder añadir un segundo microprocesador para hacer que las operaciones matemáticas sean más rápidas.

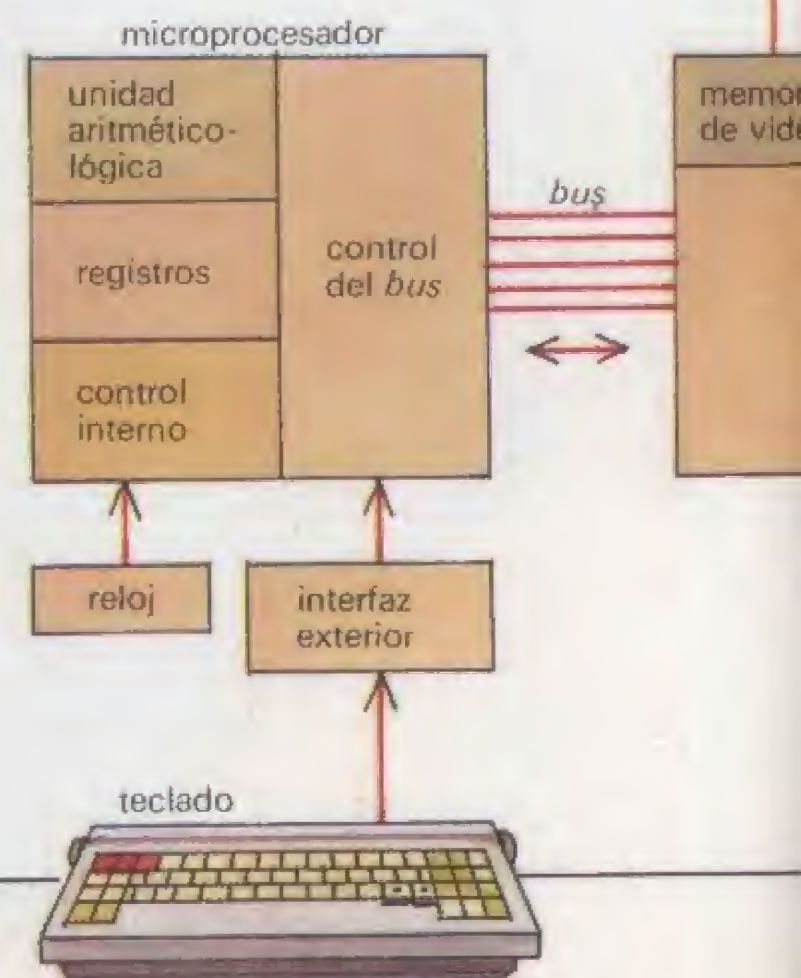
ción con el exterior (el BASIC, en la mayor parte de los casos).

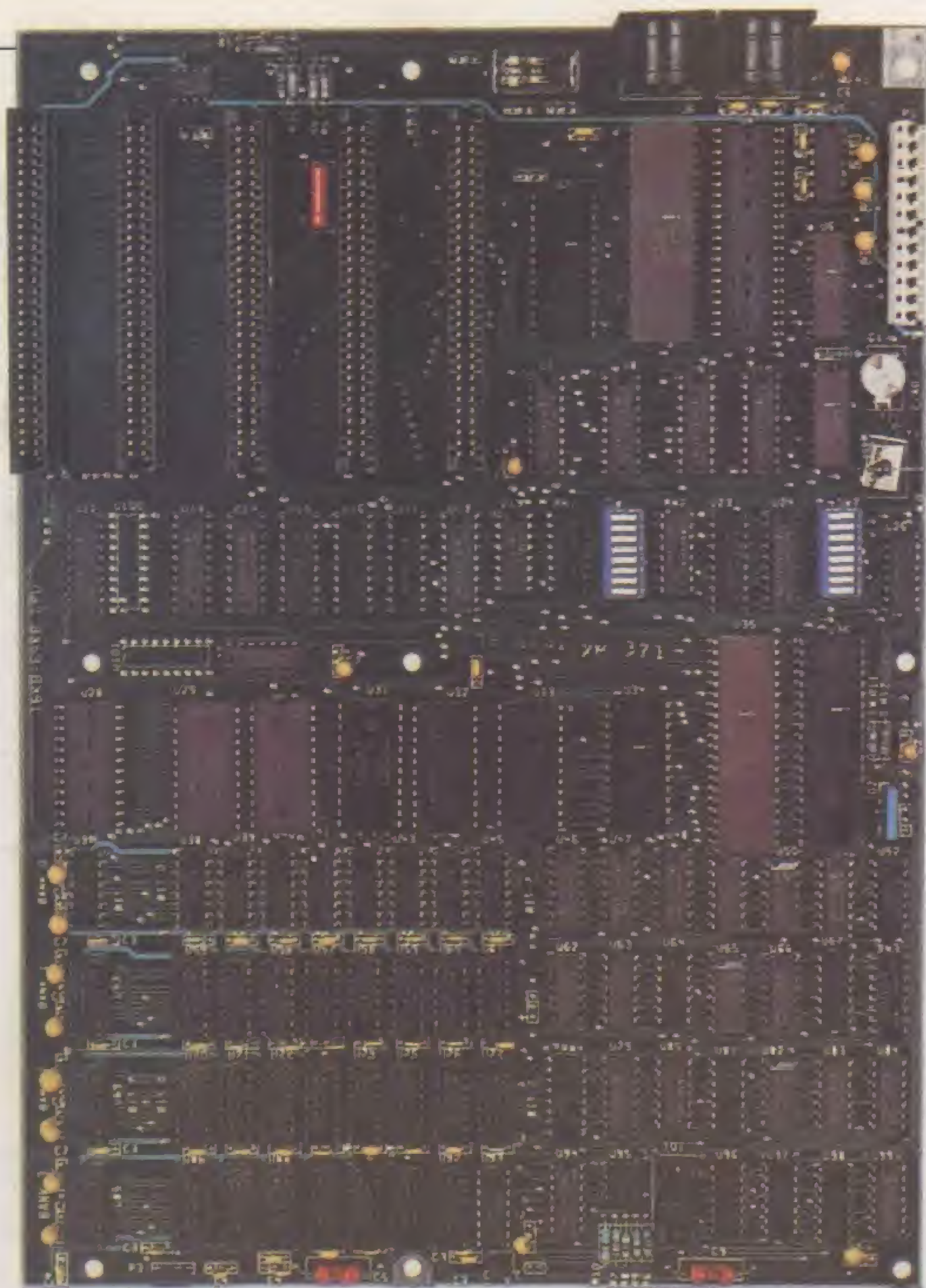
En las memorias RAM el usuario también puede "escribir" información, y constituyen las memorias de trabajo, donde se almacenan los programas que se realizarán en cada caso, los datos que utilizarán estos programas y los resultados intermedios y finales del proceso.

Otra diferencia entre ambos tipos de memoria es que las memorias ROM conservan la información cuando se quita la alimentación eléctrica, mientras que las memorias RAM son "volátiles", es decir, la información almacenada se pierde al desconectar la alimentación. Por este motivo los microordenadores (como el resto de los ordenadores) tienen que tener una memoria externa, más lenta que las memorias internas en las operaciones de lectura y escritura, pero con más capacidad y con la posibilidad de conservar la información indefinidamente sin alimentación. Habitualmente se utilizan como memorias externas de los microordenadores las cassetes de cinta magnética (grabadas y reproducidas en aparatos domésticos normales o en otros aparatos digitales especiales) y los discos magnéticos pequeños (*floppy*



pantalla de video





disk o disco flexible), donde se escribe y lee la información mediante aparatos especializados.

Los resultados del proceso se hacen visibles en la pantalla de un tubo de rayos catódicos o son escritos en papel por medio de una impresora. El "periférico" para entrada de datos es, en el caso de los microordenadores, un teclado parecido al de una máquina de escribir eléctrica.

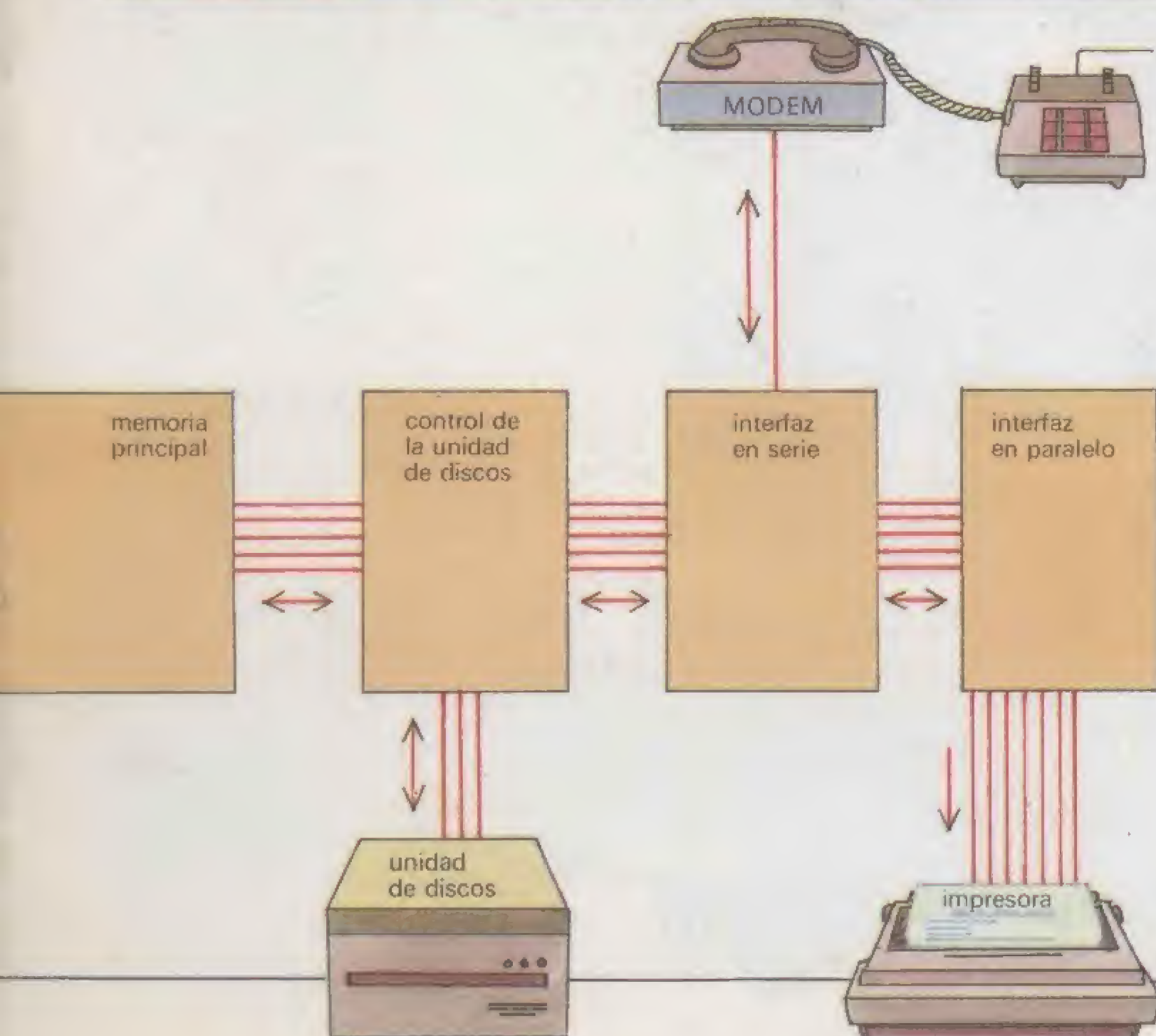
Un microordenador es una computadora digital y, por tanto, opera basándose en un sistema de numeración binario, que utiliza dos cifras —0 y 1— que reciben el nombre de *bits* (del inglés *binary digit*). La información introducida en el microordenador se traduce al código binario de acuerdo con las normas contenidas en un programa almacenado en la memoria principal. Cada carácter alfabético, numérico o de espacio en blanco tiene un equivalente en el código binario. Por ejemplo, a la letra A le corresponde en el código binario 1100 0001; a la B, el 1100 0010, etcétera.

Empleo de un microordenador Como cualquier ordenador, el microordenador necesita un programa para poder funcionar. Los programas se pueden introducir directamente en la memoria del ordenador utilizando un lenguaje de programación adecuado; pero también se pueden adquirir programas ya hechos, que se conocen con el nombre de "paquetes de *software*". El *software* está normalmente almacenado en un disco flexible (*floppy disk*) o en una cinta magnética.

Los programas están escritos en lenguajes de programación, como el BASIC (el más común), el COBOL (para usos relacionados con la gestión), el FORTRAN (un lenguaje especialmente pensado para las matemáticas y la ingeniería), etc. Las cintas o los discos que contienen los programas grabados se introducen simplemente en el aparato de lectura conectado al microordenador. Apenas se ha introducido el programa, se puede empezar a incorporar datos mediante el teclado.

Los pequeños ordenadores personales están alcanzando una difusión cada vez mayor en miles de aplicaciones. Los utilizan ampliamente, entre otros profesionales: educadores, investigadores y comerciantes. Algunas aplicaciones son la gestión contable y de archivos, las comunicaciones, la búsqueda de información y la enseñanza. Los microordenadores también han abierto el camino a nuevas formas de diversión, como los *videojuegos* controlados por un microprocesador, que se han hecho muy populares. Los microordenadores están revolucionando también el mundo de las artes: su combinación con sintetizadores musicales está creando nuevas posibilidades para los músicos. También prometen ser interesantes las aplicaciones de los ordenadores en el campo gráfico.

Véase **Miniordenador**; **Multiprocesamiento**; **Ordenador**



Microscopio

Cuando la luz que incide sobre un objeto se difunde desde su superficie, el cristalino de nuestros ojos recoge esos rayos y los concentra, de modo que forma una imagen del objeto. Esta imagen se forma sobre la retina. Cuanto más grande es la imagen que recoge la retina, tanto más cercano parece el objeto; del mismo modo, cuanto más alejado está el objeto, tanto menor es la imagen que se forma sobre la retina. Sin embargo, si el objeto se encuentra demasiado cerca, el cristalino del ojo no es capaz de proporcionar una imagen nítida. La distancia mínima de la visión clara oscila entre los 8 y los 38 cm, según la edad; convencionalmente se

considera igual a 250 mm. Esta es la razón por la que no podemos ver objetos demasiado pequeños. Deberían estar muy cerca para que el cristalino pudiese formar una imagen lo suficientemente grande como para distinguir los detalles, pero si se encuentran demasiado cerca de nuestros ojos no se pueden focalizar estos detalles. Este problema puede resolverse haciendo uso de una lente auxiliar, esto es, de una especie de cristalino artificial.

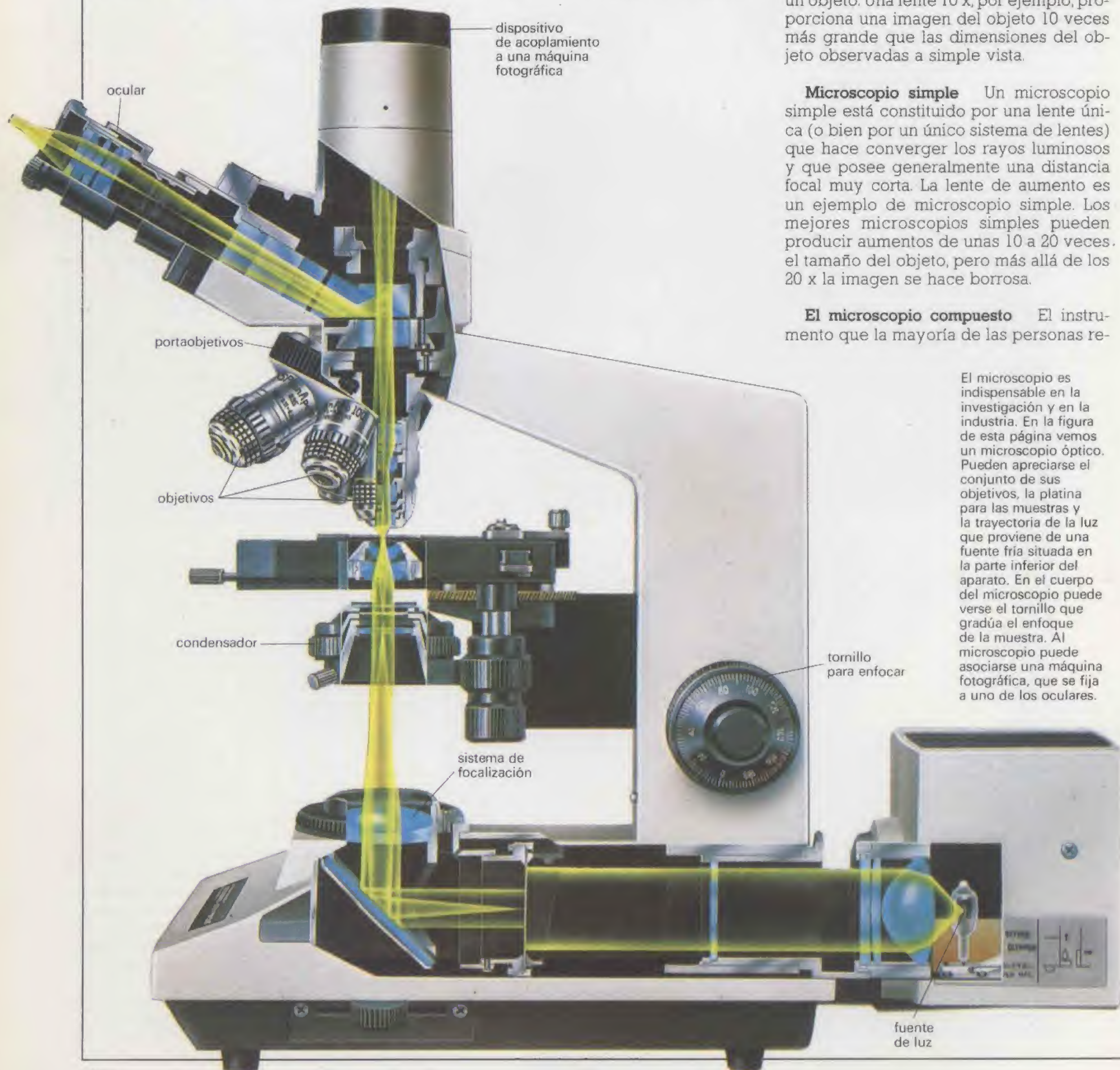
Una lente de aumento es capaz de formar una imagen más grande de la que aparecería sobre nuestra retina, incluso si el objeto se encontrase a la mínima distancia a la que el cristalino fuera capaz de

enfocar; además, esta imagen se forma a una distancia a la cual los ojos pueden acomodarse. El objeto parece más grande porque la lente de aumento proporciona una imagen más grande de la que se formaría en la retina. La relación que existe entre las dimensiones angulares de esta imagen y las dimensiones angulares del objeto visto sin lente definen el aumento de ésta. Cuanto más pequeña es la distancia focal de la lente (la distancia a la cual un haz de rayos paralelos que pasen a través de la lente convergen en una imagen), tanto más grande es su aumento. Este aumento se define numéricamente según su capacidad para incrementar el tamaño de un objeto. Una lente 10 x, por ejemplo, proporciona una imagen del objeto 10 veces más grande que las dimensiones del objeto observadas a simple vista.

Microscopio simple Un microscopio simple está constituido por una lente única (o bien por un único sistema de lentes) que hace converger los rayos luminosos y que posee generalmente una distancia focal muy corta. La lente de aumento es un ejemplo de microscopio simple. Los mejores microscopios simples pueden producir aumentos de unas 10 a 20 veces el tamaño del objeto, pero más allá de los 20 x la imagen se hace borrosa.

El microscopio compuesto El instrumento que la mayoría de las personas re-

El microscopio es indispensable en la investigación y en la industria. En la figura de esta página vemos un microscopio óptico. Pueden apreciarse el conjunto de sus objetivos, la platina para las muestras y la trayectoria de la luz que proviene de una fuente fría situada en la parte inferior del aparato. En el cuerpo del microscopio puede verse el tornillo que gradúa el enfoque de la muestra. Al microscopio puede asociarse una máquina fotográfica, que se fija a uno de los oculares.





La estructura de un microscopio como el representado a la izquierda de estas líneas es particularmente sólida: se trata en este caso de un microscopio de luz transmitida, el tipo más difundido entre los microscopios ópticos para la investigación científica. La solidez del instrumento es necesaria para asegurar una transmisión óptima de la luz y una observación libre de vibraciones. Cada

instrumento está dotado de uno o de dos oculares que permiten una visión mono o binocular, y de un conjunto de objetivos que permite obtener diversos aumentos. Bajo estas líneas, los cinco objetivos utilizados en el microscopio de la ilustración: nótese su compacta construcción, lo que asegura una precisión óptica absoluta. En las dos fotografías de más abajo vemos dos tipos de platinas para muestras, en las que

se coloca el objeto sometido a examen. Este, en general, se encuentra situado entre dos láminas de vidrio unidas mediante un tipo particular de pegamento transparente (que suele ser, habitualmente, bálsamo del Canadá). La platina superior es más tradicional, cuadrada, con un gancho fijo y otro móvil, mientras que la inferior es girable 360 grados con respecto al objetivo de observación.



conoce como microscopio —el utilizado en las lecciones de Biología, por ejemplo— es el microscopio compuesto. Está constituido por dos lentes o por dos sistemas de lentes que producen el aumento de la imagen en dos fases. La primera lente —el *objetivo*— funciona como un microscopio simple y proporciona una imagen aumentada del objeto. La segunda lente —el *ocular*— incrementa posteriormente esta imagen.

El aumento de un microscopio compuesto viene dado por el producto de los aumentos de las dos lentes. Un microscopio habitualmente utilizado en investigación, con un ocular de 10 x y un objetivo de 10 x, posee, por lo tanto, un aumento total de 100 x. Los microscopios disponen con frecuencia de dos o más objetivos con aumentos diferentes, intercambiables según las necesidades. De esta manera, un mismo microscopio con un ocular de 10 x y con tres objetivos de 10 x, 45 x, y 100 x puede proporcionar aumentos totales de 100 x, de 450 x y de 1.000 x.

El microscopio compuesto proporciona imágenes no sólo más grandes, sino también más definidas. La *definición*, o poder resolutivo, es la propiedad del microscopio de separar detalles que se encuentran muy juntos en la muestra en estudio. Sin embargo, sólo pueden ser separados los detalles cuyo tamaño sea más grande que



la longitud de onda de la luz (la longitud de onda es la distancia entre dos crestas consecutivas de la onda en los rayos luminosos). Para todos los microscopios prácticos, este hecho limita el aumento útil a unos 2.000 x. Por encima de estos valores la imagen de un punto cualquiera se hace confusa y la imagen global resulta borrosa.

Partes del microscopio Los microscopios compuestos están fundamentalmente constituidos por tres partes. La primera se denomina generalmente *horquilla* y actúa como base sobre la que reposa el instrumento. Está constituida por un pesado bloque de metal, a menudo en forma de herradura, que se articula con un brazo curvo que sostiene el resto del microscopio. La parte central del microscopio está formada por el *cuerpo*. Este se articula con la horquilla de modo que pueda ser dispuesto con inclinaciones diferentes. En el fondo del cuerpo se encuentra situado un espejo que refleja la luz y la dirige de manera que atraviese la muestra en estudio. Algunos microscopios con alto poder de aumento poseen su propia fuente de luz, constituida por una lámpara autónoma. Por encima del espejo se sitúa la plataforma, llamada *platina*, destinada a sostener la muestra. En los microscopios existe además un tercer sistema de lentes, el *con-*

densador, que está fijado a la parte inferior de la platina y que tiene la función de concentrar la luz para iluminar la muestra. Al cuerpo del microscopio está unido un sistema de cremallera que transporta un tubo en el que están colocadas las dos lentes: el objetivo y el ocular. El objetivo se encuentra en el extremo inferior del tubo. Cuando el microscopio dispone de más de un objetivo con aumentos distintos, éstos se encuentran montados en un portaobjetivos "en revólver". Este permite llevar a la posición del eje óptico el objetivo que se desee en un momento dado.

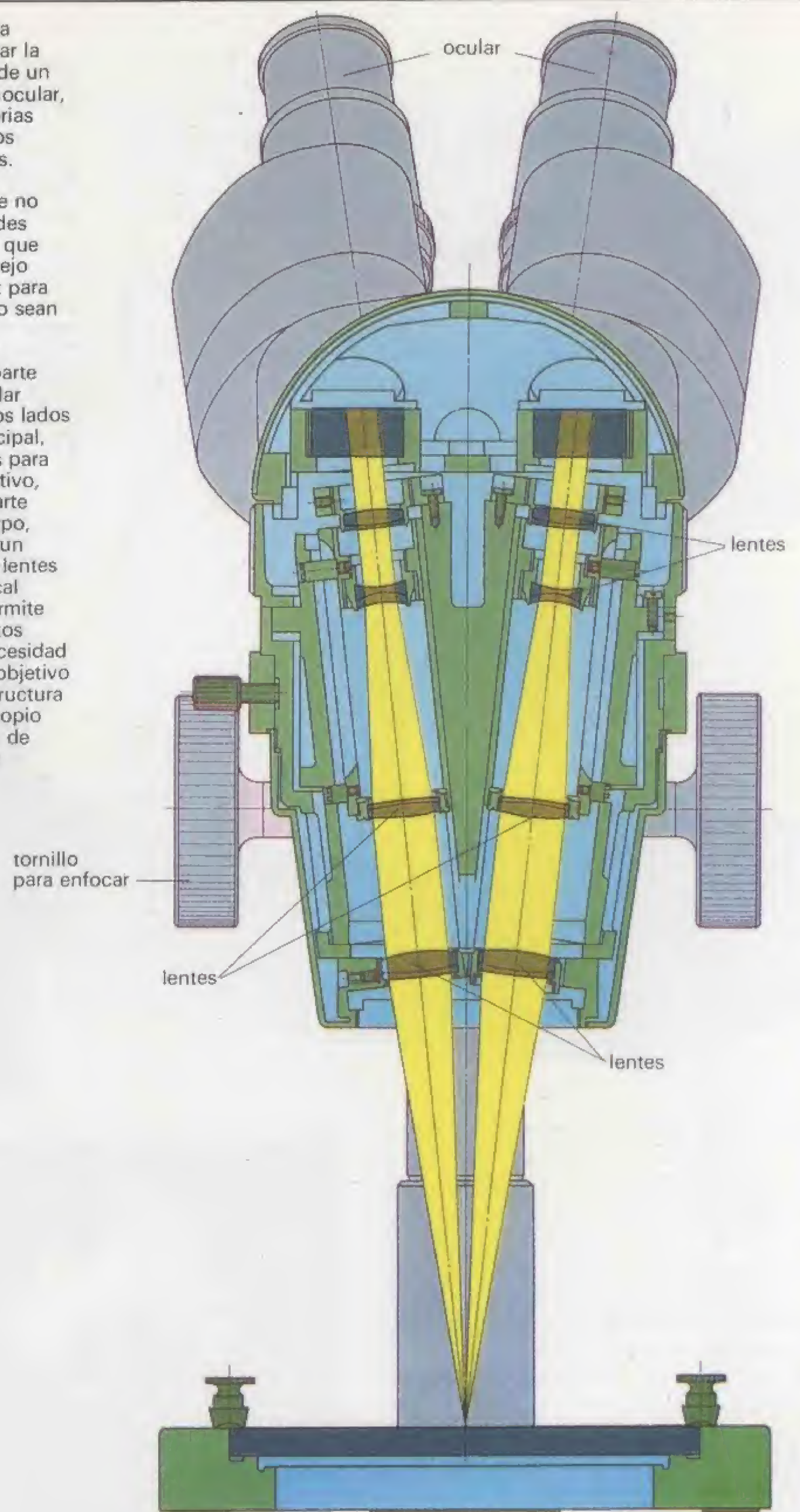
El sistema de lentes del ocular se encuentra situado en el extremo superior del tubo. Para obtener un enfoque adecuado de la muestra, el tubo puede desplazarse hacia arriba y hacia abajo con sus dos sistemas de lentes mantenidos a una distancia fija entre ellos. Los movimientos del tubo se pueden controlar mediante dos tornillos situados en la parte superior del cuerpo. El primer tornillo permite efectuar los movimientos más amplios del microscopio en su totalidad, mientras que el segundo tornillo, llamado *tornillo micrométrico*, permite una regulación más precisa para efectuar un enfoque perfecto.

La mayor parte de los objetivos es del tipo denominado *seco*: los rayos luminosos pasan a través del aire que se encuentra entre la muestra y el objetivo. Algunos microscopios, sin embargo, utilizan los llamados *objetivos de inmersión*; los objetivos de este tipo se ponen en contacto con una gota de aceite situada entre el propio objetivo y el vidrio que recubre la muestra (llamado *cubreobjetos*). De este modo se logra un poder resolutivo mayor. Los objetivos de inmersión de gran aumento requieren también un condensador de inmersión, que, al igual que el objetivo, está en contacto con el vidrio que sostiene la muestra (llamado *portaobjetos*) a través del aceite.

Algunos microscopios poseen un doble tubo, o tubo binocular, que divide la luz en dos haces, de manera que sea posible la observación del objeto haciendo uso de la visión estereoscópica (con los dos ojos simultáneamente). Otros tubos especiales permiten la división de la luz en tres haces, dos para los ojos y uno para un dispositivo de registro fotográfico.

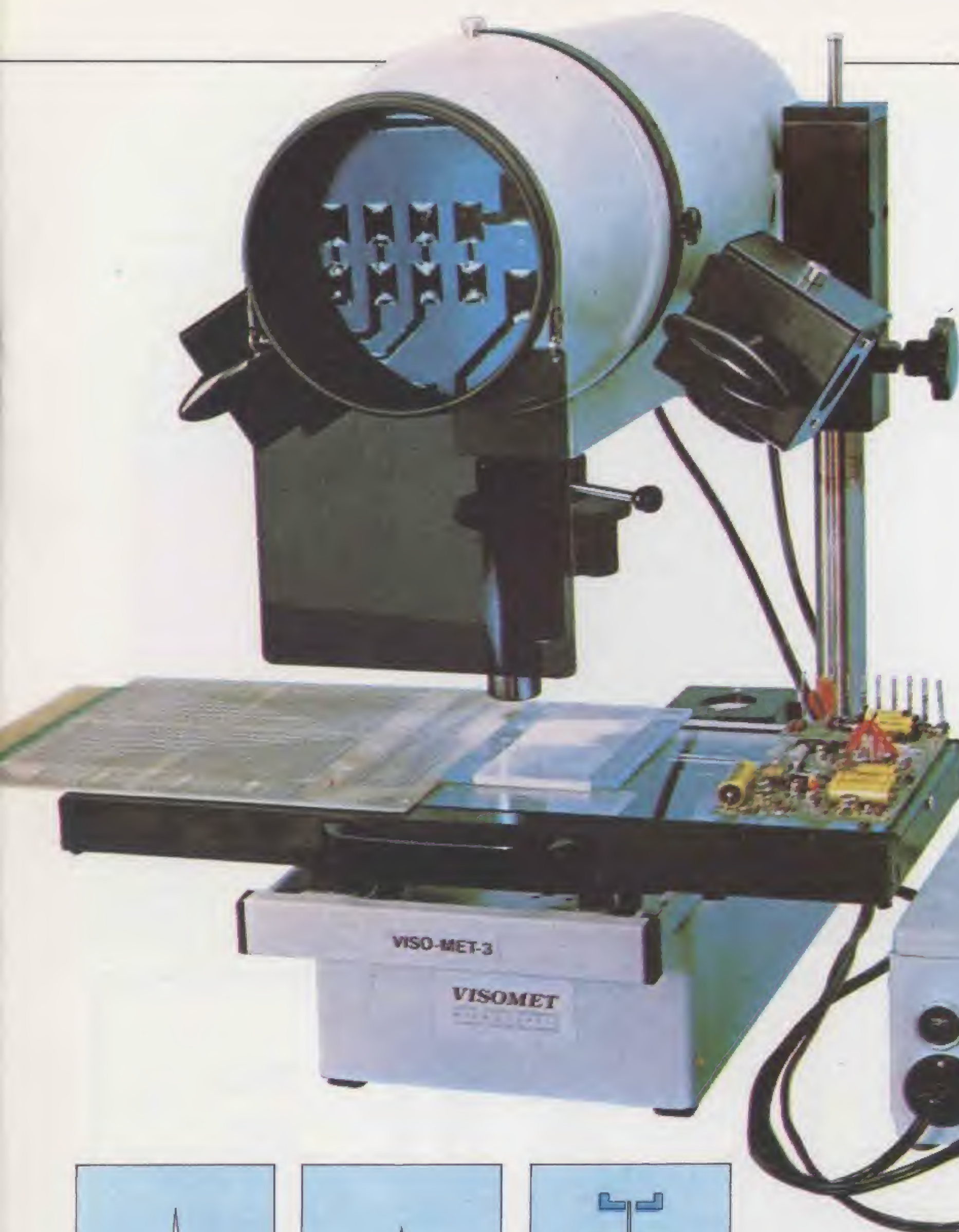
Tipos de microscopio Existen muchos tipos de microscopio capaces de responder a las distintas necesidades de la investigación y de la industria. En ellos algunas de las funciones han sido modificadas: por ejemplo, equipándolos de iluminación indirecta, o para proporcionar un contraste o un aumento particular, o con el fin de obtener imágenes divididas según los problemas particulares que presenten las muestras. Entre estos instrumentos especializados podemos citar los microscopios estereoscópicos, los microscopios de polarización, de luz reflejada, de fluorescencia, de contraste de fase, los microscopios interferenciales en luz transmitida y reflejada, etcétera.

En este esquema se puede apreciar la sección frontal de un microscopio binocular, con las trayectorias recorridas por los haces luminosos. Se trata de un microscopio que no opera con grandes aumentos, pero que permite un manejo sencillo y eficaz para muestras que no sean especialmente conflictivas. Se observa, en la parte superior, el ocular doble y, a ambos lados del cuerpo principal, los dos tornillos para enfocar. El objetivo, situado en la parte inferior del cuerpo, está dotado de un dispositivo con lentes de distancia focal variable que permite obtener aumentos distintos sin necesidad de sustituir un objetivo por otro. La estructura de este microscopio es parecida a la de un amplificador fotográfico.



Microscopios no ópticos Las variedades de microscopios antes mencionadas son todas ellas de tipo óptico, es decir, hacen uso de la luz visible que es refractada por las lentes hasta formar una imagen. El aumento que se puede obtener con estos sistemas está limitado, como ya se ha dicho, por la longitud de onda de la luz. Los científicos han descubierto recientemente la forma de utilizar haces de electrones que tienen una longitud de onda menor que la de la luz, de manera que es posible resolver imágenes de objetos muy pequeños, como las bacterias o los virus. Actualmente hay en uso dos tipos fundamentales de microscopios electrónicos: el de transmisión y el de barrido. En el mi-

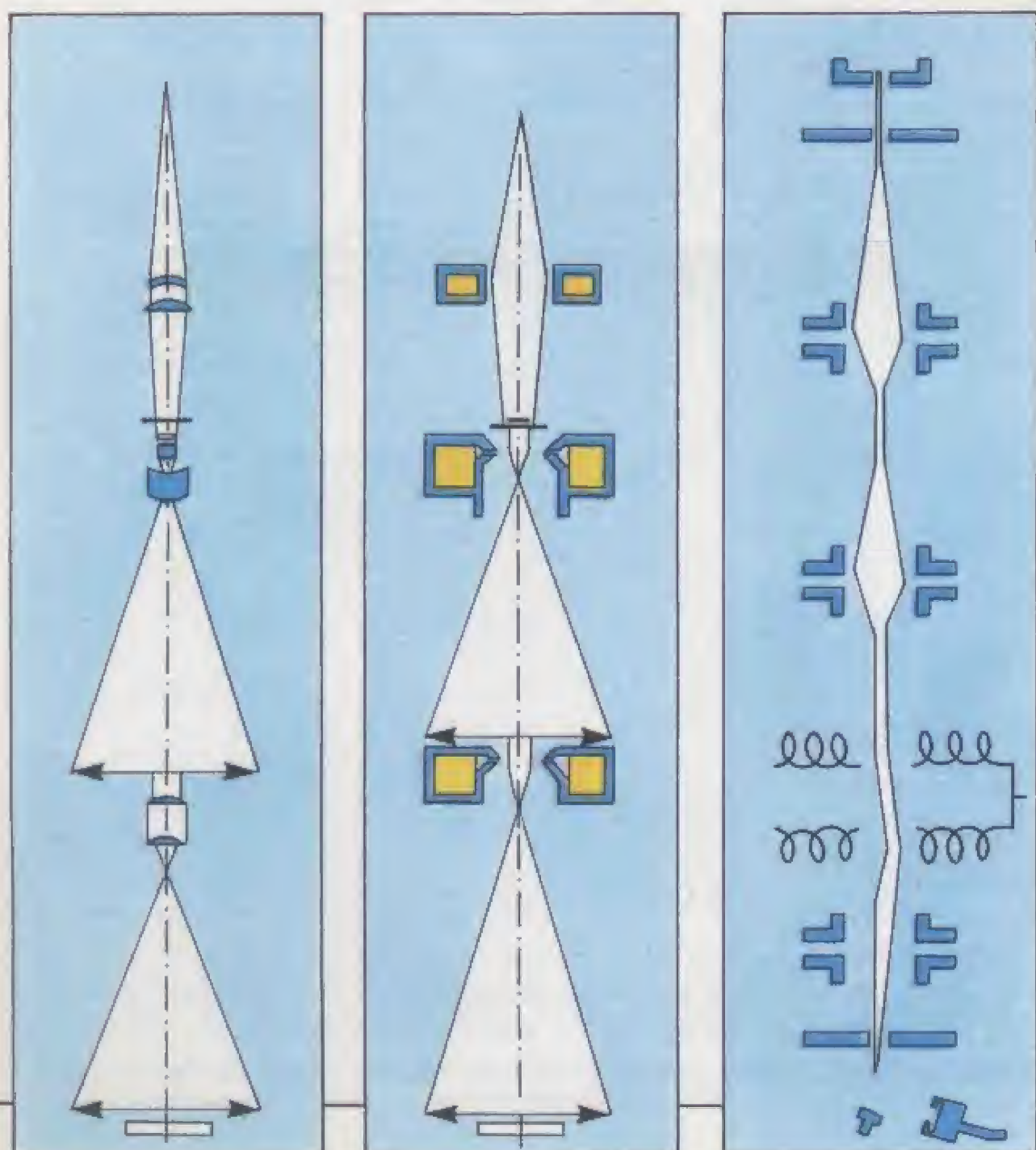
croscopio electrónico de transmisión el haz de electrones se hace pasar a través de la muestra en examen. Algunos electrones son absorbidos, otros son difundidos y los que quedan son focalizados sobre una pantalla fluorescente o sobre una placa fotográfica por medio de lentes magnéticas. El haz de electrones es enfocado por los campos magnéticos o electrostáticos de la misma forma que los rayos luminosos son enfocados por las lentes de vidrio. Los electrones que han atravesado la muestra inciden en la pantalla, produciéndose en ella pequeños puntos luminosos; cuando los electrones se reflejan hacia atrás o se difunden, la pantalla permanece oscura. La imagen electrónica



reproduce, en consecuencia, la forma de la muestra. Cualquier material, incluido el aire, produce una difusión de los electrones. Por ello es necesario realizar previamente el vacío en el tubo del microscopio, de manera que los electrones sean difundidos únicamente por la muestra.

En el microscopio electrónico de barrido, el haz de electrones se focaliza adecuadamente de manera que incida sólo sobre una pequeña superficie de la muestra. Estos electrones primarios producen la emisión de electrones desde la superficie de la muestra, a los que se denomina *secundarios*. Los electrones secundarios, a su vez, activan un centelleador de cristal que produce pequeños destellos de luz por efecto del bombardeo electrónico. Las señales correspondientes son ulteriormente amplificadas y finalmente modulan la luminosidad sobre la pantalla de un monitor de rayos catódicos. El haz del microscopio electrónico es enviado a la muestra de forma tal que puedan ser exploradas diferentes áreas. Esto produce, como resultado, una imagen de la topografía de la superficie de la muestra.

A la izquierda se observa un instrumento que utiliza el principio del microscopio, tanto con haces de luz transmitida como con haces de luz reflejada. Se trata de un instrumento utilizado sobre todo para el control de estructuras de precisión, como las soldaduras de un circuito impreso, que se ven aumentadas en la pantalla circular.



En los tres esquemas de la izquierda podemos ver ilustrados los principios en que se basa el microscopio electrónico convencional y el microscopio electrónico de barrido. Como puede apreciarse, las estructuras básicas son similares, si bien en el microscopio óptico se utilizan lentes ópticas mientras que en los electrónicos de transmisión y barrido se emplean lentes magnéticas para la focalización del haz.

El microscopio de iones, o de campo iónico, es el instrumento de aumento más potente que existe en la actualidad. Utilizando haces de átomos de helio, este microscopio es capaz de producir aumentos de hasta dos millones de veces. Se utiliza para estudiar átomos metálicos y su disposición en los retículos cristalinos. Una aguja del metal que va a ser examinada se sitúa en una pantalla fluorescente. El tubo se vacía de aire y se rellena con helio. La carga positiva entre la aguja y la pantalla atrae electrones de los átomos de helio, que de este modo se convierten en iones; estos iones, repelidos por la aguja cargada positivamente, se mueven hacia la pantalla, la cual posee una carga negativa y, cuando inciden sobre ella, se ilumina dando origen a una imagen del material que constituye la aguja.

Véase **Histología; Luz; Microscopio electrónico**

Microscopio electrónico

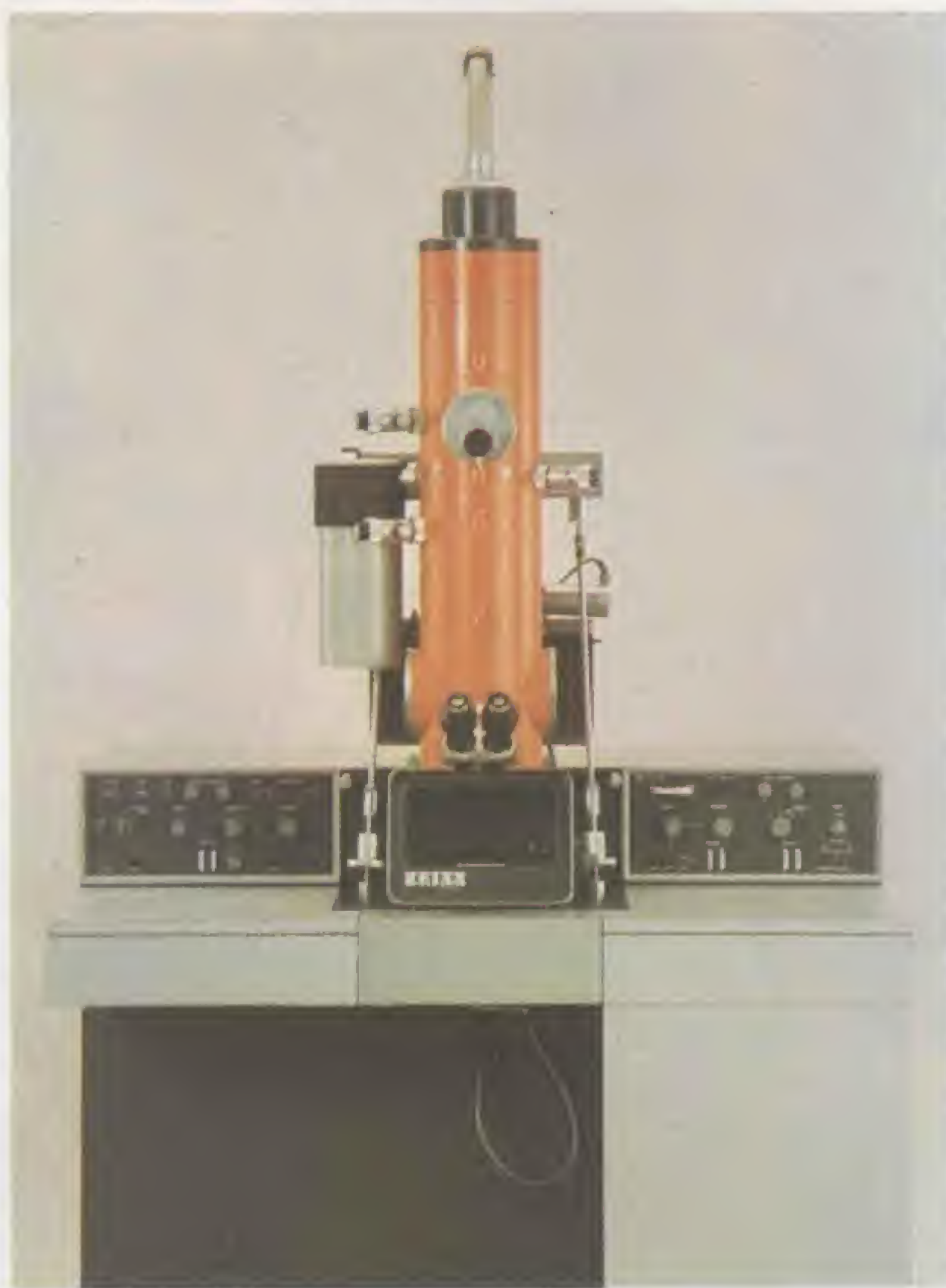
Algunas de las mejores conquistas de la ciencia se deben al esfuerzo conjunto de varios científicos actuando en distintos campos, cada uno de ellos investigando independientemente de los demás. Una de estas conquistas, el microscopio electrónico, se obtuvo gracias al camino que trazó Louis de Broglie al sugerir que un haz de electrones podía viajar como una onda, de forma análoga a un rayo de luz. Además de esto, siempre según De Broglie, la longitud de onda del haz de electrones sería mucho más pequeña que la de la luz.

Varios años más tarde, algunos científicos intentaron usar haces de electrones, en lugar de haces luminosos, para observar objetos muy pequeños. Si el haz de electrones se podía utilizar de la misma manera que un rayo de luz para ver los objetos en un microscopio, la potencia de aumento de un aparato de este tipo podría ser muy superior a la de un microscopio óptico, debido a la menor longitud de onda de los electrones. Este aparato, la realización más importante en este campo, señala el principio de la ciencia que combina los conocimientos de la óptica y de la electrónica.

Microscopio óptico El microscopio electrónico se basa en los mismos principios que el primer microscopio óptico, que inventó Anton von Leeuwenhoek. En este instrumento la luz procedente del objeto bajo examen se enfoca, haciéndola pasar a través de un cierto número de lentes fijas, que aumentan la imagen y la dirigen hacia el ojo del observador. El plano del portaobjetos se puede mover hacia arriba y hacia abajo a lo largo del rayo de luz para enfocar la imagen. Algunos tipos de microscopio óptico complejos pueden aumentar las imágenes centenares de veces.

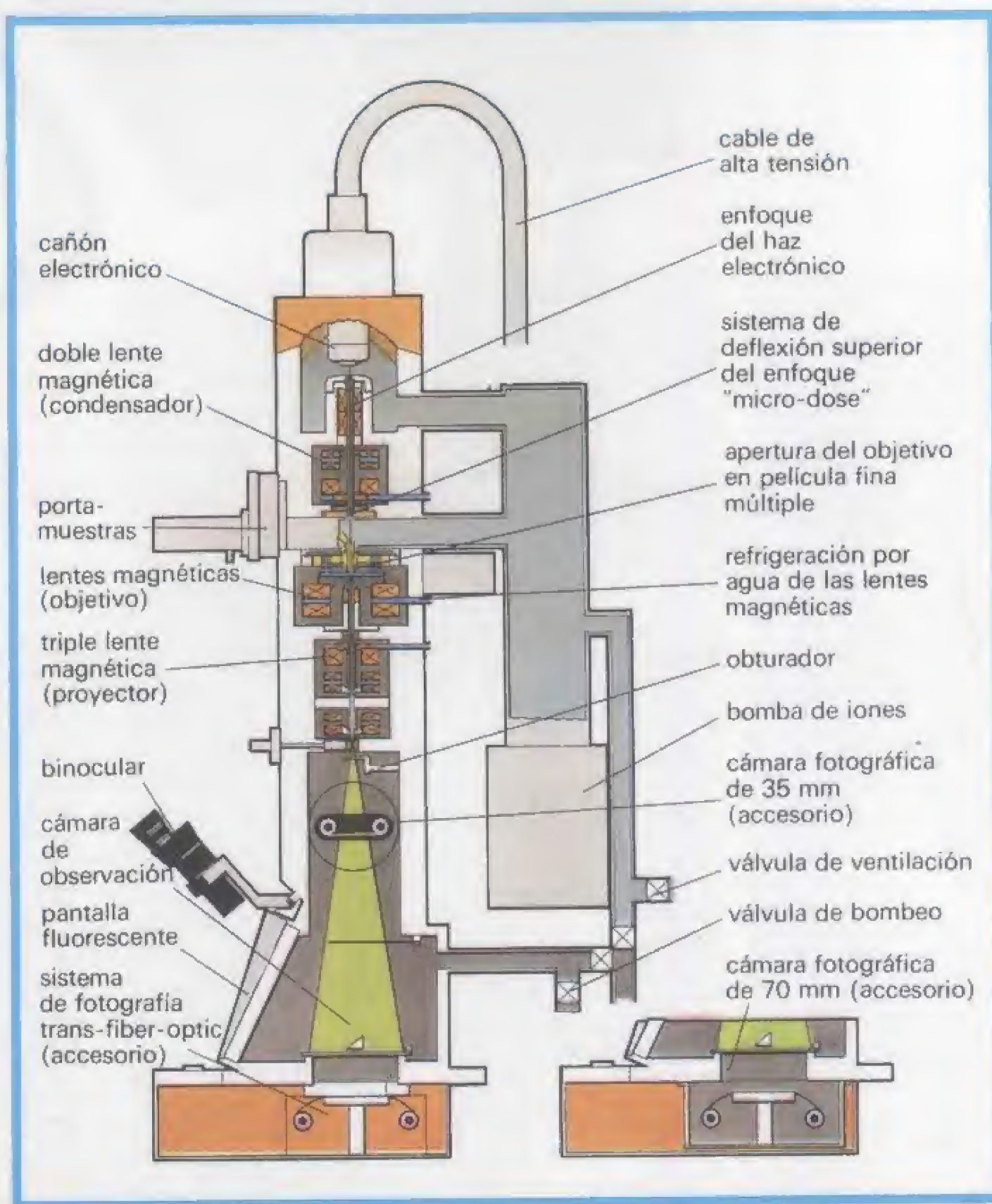
Microscopio electrónico En el microscopio electrónico se genera un haz de electrones en un filamento de tungsteno incandescente llamado *cañón electrónico*.

El haz de electrones se dirige a continuación hacia una abertura, para recorrer el cilindro o cuerpo del microscopio, donde están alojadas las lentes, la muestra bajo examen y el sistema de recogida de imagen. El microscopio electrónico utiliza dos tipos de lentes: electrostáticas y magnéticas. A lo largo de su recorrido, el haz de electrones se enfoca mediante una serie de campos eléctricos o magnéticos, que separan o concentran el haz lo necesario para alcanzar la rejilla portaobjetos de la mejor forma. Estas lentes también preparan el haz de electrones para que, al pasar a través del objeto que se está examinando, se pueda volver a enfocar y dirigir con otra serie de lentes electrostáticas, hasta alcanzar el sistema de obtención de imagen. Los electrones, que transportan una imagen "eléctrica" de la superficie de la muestra bajo examen, llegan al final a un plano fluorescente o pantalla, que la transforma en imagen visible. Las imágenes



A la izquierda, microscopio electrónico de transmisión EM 109. En la consola de la izquierda se puede observar el visor numérico de los aumentos, el selector de aumentos y el control de intensidad del haz electrónico. En la parte central están el binocular y la cámara de observación, con la pantalla fluorescente en la que se forma la imagen de la muestra en estudio. En la consola de la derecha se observa el control numérico de focalización y el interruptor de selección de imagen (que varía desde 150 a 400.000 aumentos). Abajo, esquema de la sección longitudinal del microscopio, con indicación de algunos de sus componentes.

Zeiss





W. Pabish S.p.A.

nes obtenidas se pueden aumentar más en las fotografías, tomadas con el fin de conservar de forma duradera los resultados de los trabajos realizados. Este es el denominado *microscopio de transmisión*, llamado así porque la imagen se obtiene haciendo pasar —o "transmitiendo"— un

haz de electrones a través de la muestra. Existe otro tipo de microscopio electrónico, el *de reflexión*, que funciona basándose en la reflexión de los electrones en la muestra. Con este último microscopio se pueden realizar exploraciones muy detalladas de las superficies, detectando hasta

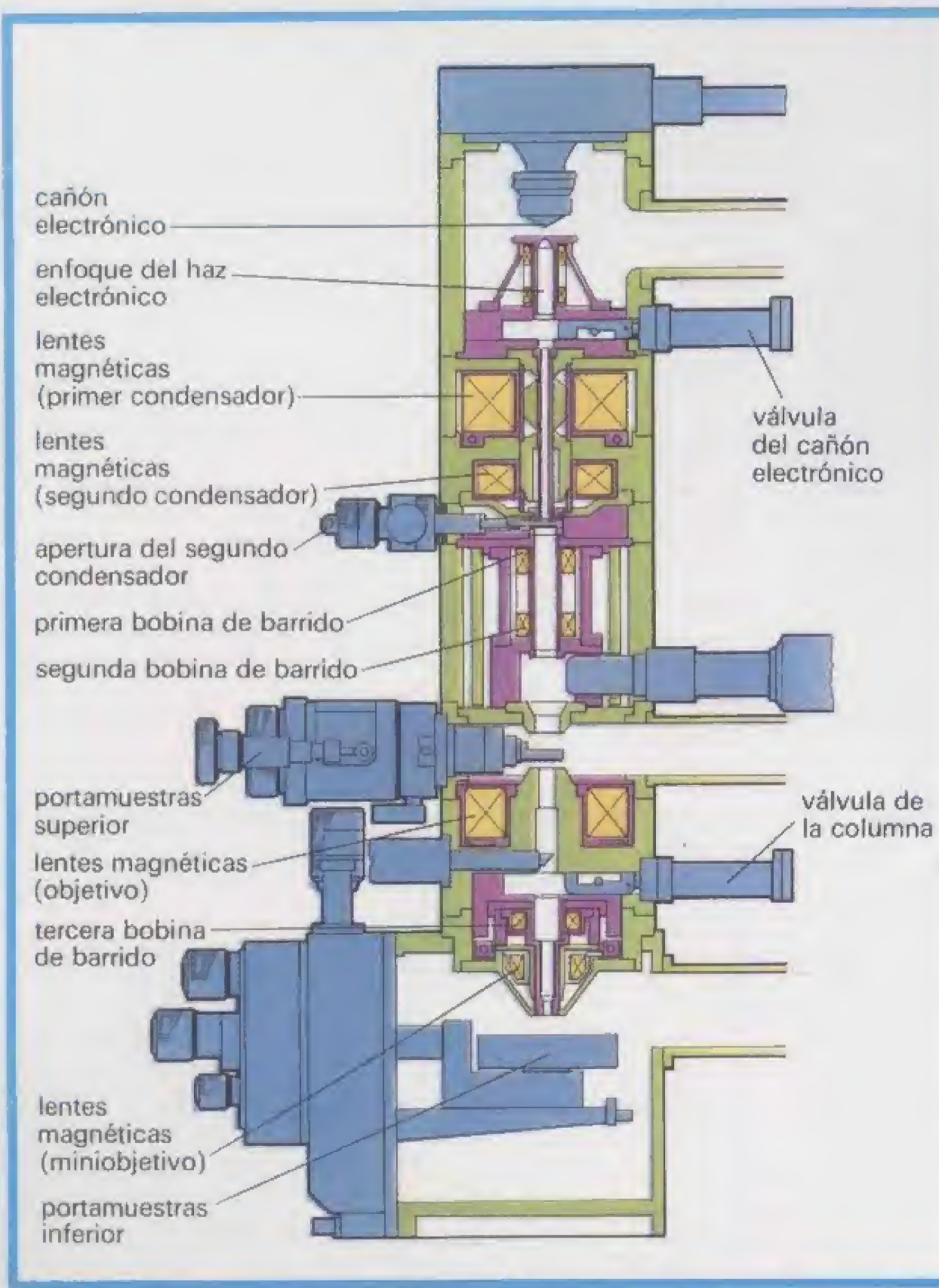


los más pequeños efectos, irregularidades e imperfecciones.

Limitaciones e inconvenientes El microscopio electrónico de transmisión tiene algunas limitaciones. Una de ellas es que todos los procesos en los que están presentes los electrones se tienen que realizar en el vacío para evitar desviaciones en el haz de electrones. El aparato entero se cierra herméticamente y en su interior se hace el vacío, lo que limita notablemente los tipos de muestras que se pueden examinar. Por ejemplo, con el microscopio de transmisión no se pueden observar células vivas.

A pesar de todo, el microscopio electrónico —fruto de la relativamente nueva Óptica electrónica— no sólo nos permite observar cosas que nunca podríamos ver a simple vista, sino que además permite ver más allá de la superficie, dentro de la sustancia, sea un metal o una preparación biológica. El microscopio electrónico, utilizado en Medicina, Metalurgia y Química, es ya un aparato insustituible.

Véase **Lente; Microscopio**



Arriba, microscopio electrónico de reflexión o barrido: a la izquierda vemos el microscopio propiamente dicho, a la derecha las dos pantallas de rayos catódicos de 12 pulgadas y, debajo, la consola con los mandos. Los aumentos pueden variar de forma continua de 10 a 300.000. A la izquierda de estas líneas, esquema de la sección longitudinal de un microscopio electrónico, en el que están indicados los distintos componentes. A la derecha (arriba), secuencia de imágenes con distintos aumentos de un pequeño insecto parásito, que demuestra lo fácil que es obtener el efecto "zoom" con este tipo de microscopio. Empezando desde arriba, la imagen del insecto está aumentada 25,4 veces, 85 veces, 254 veces y 3.200 veces.

Miel

Durante siglos los hombres han considerado la miel como un alimento natural, dulce y nutritivo. Sin embargo, la miel no es producida por las abejas para nuestro beneficio, sino para ellas mismas, que la almacenan como reserva alimenticia rica en energía. Si bien una colmena media puede contener cerca de 80.000 abejas, sólo las abejas obreras son las encargadas, en determinado período de su vida, de producir miel.

Para una abeja obrera, procurarse el néctar es sólo una de las muchas tareas a las que está destinada. Además, se ocupa de limpiar las celdillas, de nutrir a las larvas, de construir las celdas y de defender la entrada de la colmena. Sólo cuando alcanza los 15 días de edad, sus glándulas hipofaríngeas —que preferentemente habrían producido jugos para nutrir a las larvas— segregan los enzimas necesarios para la producción de la miel.

La recogida del néctar Es probable que las abejas obreras jóvenes perfeccionen su propio papel de avitualladoras de la comunidad observando el comportamiento de las obreras más viejas que regresan de sus vuelos de recogida de alimento. Las abejas obreras ejecutan una especie de danza con la cual comunican a sus compañeras la localización de una rica fuente de néctar. Una vez recibido el mensaje, la abeja obrera busca el néctar utilizando el olfato o la vista. Generalmente el sentido del olfato es empleado para las distancias largas, mientras que la vista es importante cuando la abeja está ya cerca de la flor, que reconoce por su aspecto externo.

Las abejas tienen una buena visión de los colores, si bien los colores que ven se

A la derecha se representa el proceso de producción de la miel, fenómeno natural complejo; para producir un kilogramo de miel más de mil abejas deben visitar más de dos millones y medio de flores de las cuales sacan el néctar. La miel se deposita en las celdas, donde se inicia una fase de maduración durante la cual se evapora mucha agua y aumenta por tanto la concentración de azúcar del producto. Las abejas ventiladoras favorecen la evaporación y de esta manera la humedad se reduce por debajo del 20%. La maduración requiere comúnmente de uno a dos días, pero en épocas de lluvia o de frío el proceso puede durar hasta veinte días. Ocurren también reacciones químicas complejas a cargo de los azúcares, sobre todo hidrólisis de la sacarosa y síntesis de nuevos azúcares. La miel es extraída de los opérculos con varios sistemas, pero el más usado es la centrifugación. La filtración y la maduración eliminan las impurezas. Después de envasada, la miel comienza un proceso de envejecimiento; el más llamativo es la cristalización. Para evitar esto se siguen tratamientos como la pasteurización y la cristalización controlada.





Desmelador centrífugo con panales dispuestos en estrella (arriba); abajo, un grano de polen visto al microscopio.



En la tabla superior se representan los valores medios de los más importantes componentes de la miel. Los datos se refieren a 100 g de miel y han sido calculados sobre muchas muestras. Cabe destacar que los componentes de partida son diversos (néctares, melazas) y no siempre las reacciones químicas de transformación siguen el mismo esquema. Arriba, la primera foto muestra un apicultor con máscara y guantes de protección extrayendo los panales de la colmena. En la segunda se ve un detalle de la recogida de la miel. Cuando las abejas consideran que la miel está lista, cierran la celda con una fina película de

COMPOSICION MEDIA DE LA MIEL (sobre 100 g)							
GLUCIDOS		VITAMINAS		MINERALES		OTROS COMPUESTOS	
Total	78 g	B ₁	0,01 mg	Ca	5 mg	agua	18 g
del cual fructosa	41 g	B ₂	0,04 mg	Fe	0,5 mg	prótidos y aminoácidos libres	1 g
glucosa	33 g	B ₆	0,3 mg	P	6 mg	lipidos	0,2 g
sacarosa	2 g	C	1 mg	Na	5 mg	calorias	303 kcal
destrina y maltosa	1 g	ácido nicotínico	0,3 mg	K	51 mg		
(maltosa-lactosa y otros productos presentes en partes inapreciables)		ácido pantoténico	0,1 mg	Mg	6 mg		
		(biotina y ácido fólico presentes en partes inapreciables)	1 g	(Cu, Mn, Cr, Zn, Co están presentes en partes inapreciables)			
Enzimas: invertasa, diastasa, glucosa-oxidasa, fosfatasa							
Sustancias aromáticas: aldehidos, alcoholes, ésteres							
Pigmentos: caroteno, clorofila. Y además: taninos y sustancias de acción antibiótica							

encuentran en las bandas de mayor frecuencia del espectro visible y en el ultravioleta. Muchas de las flores que nosotros vemos de color blanco puro, las abejas las ven coloreadas con líneas que las guían al depósito del néctar. Según la disponibilidad de néctar, una abeja visita de 50 a 100 flores en cada viaje.

Aunque una abeja obrera pesa solamente alrededor de 80-85 miligramos, puede cargarse de otros 75 miligramos de néctar que almacena en el buche o "estómago de la miel", una especie de bolsa que se encuentra al final del esófago.

Cómo se produce la miel Cuando la abeja retorna a la colmena, el néctar que ha recogido es diluido y mezclado con unos enzimas (invertasa) en una vesícula llamada *ingluvies* o *bolsa melaria*, donde se transforma en miel. Esta transformación supone, principalmente, una pérdida considerable de agua y la hidrólisis de la sacarosa por efecto de la invertasa.

A continuación, la solución azucarada es depositada en celdillas vacías, donde las abejas guardianas que ventilan las celdas hacen evaporar el agua que queda con el movimiento de sus alas. Las celdas que contienen la miel son luego encapsuladas con una capa de cera, llamada *opérculo*. Se inicia entonces un proceso que dura alrededor de cinco días y en el que se produce la conversión de la sacarosa en glucosa y fructosa. Al mismo tiempo comienza la síntesis de otros azúcares más complejos.

La calidad de la miel depende de los tipos de plantas labados por las abejas; la de mejor calidad procede de las labiadas (espliego, romero, tomillo), siendo de inferior calidad la de las crucíferas. Algunas

plantas pueden conferir a la miel un gusto desagradable o, incluso, propiedades tóxicas para el hombre (como la *Azalea pontina* y los beleños).

La miel en la alimentación humana Los hombres cosechan la miel desde los tiempos más remotos. Algunas tribus de África y de la India recogen hoy mucha más miel que sus antepasados, predando las colmenas de las abejas de la selva y marcando con signos los árboles de los cuales han descolgado una colmena. En algunos lugares se produce todavía hoy una bebida hecha con miel fermentada mezclada con agua y aromatizada con flores de tilo y de romero, similar a la hidromiel bebida por los romanos, los vikingos y los celtas en el norte de Europa.

En muchas partes del mundo la miel es hoy, más que nunca, popular como alimento saludable y como edulcorante. La miel da origen a un gran movimiento comercial con una producción mundial de más de 900.000 toneladas. Los mayores exportadores son: México, Argentina, Australia y Estados Unidos. La miel de exportación proviene a menudo de un único tipo de flor (por ejemplo: la miel de eucalipto de Australia y la miel de trigo de Estados Unidos). La miel europea suele ser de un color amarillento, aunque a veces es también blanquecina, verdosa o de un rubio muy oscuro. Es de destacar la calidad de la miel procedente de la cuenca mediterránea, cuya fragancia y rico sabor se deben a los numerosos tipos de plantas aromáticas (tomillo, mejorana, romero, etc.) que crecen en sus campos. La miel oscura de pino de Alemania es poco común y no es un producto del néctar sino de la recolección, por parte de las abejas, de la llamada "miel de rocío", el líquido dulce y viscoso segregado por los áfidos que se nutren de la linfa de algunas plantas; en este caso, de la linfa de jóvenes plantas coníferas.

Véase **Abeja; Alimentación y nutrición**

Migraciones animales

Todos los otoños surcan el cielo bandadas de ocas que se dirigen al Sur; siempre son las mismas bandadas, ya que las ocas son aves migradoras y recorren siempre las mismas rutas desde las zonas de cría a las de invernada. Este fenómeno que es tan frecuente en las aves, ya que no en vano son un grupo animal que ha conquistado el medio aéreo, está muy difundido también en otros grupos: peces, mamíferos acuáticos y terrestres, insectos, etc. Frente a la paralización de la vida activa (hibernación, estivación...), que constituye una estrategia pasiva para adaptarse a los fuertes cambios estacionales, las migraciones representan una forma activa de aprovechar los recursos alimenticios y escapar a las condiciones ambientales adversas, así como de controlar la población cuando llega a faltar espacio vital.

El proceso de la migración Aunque los científicos no han sido capaces aún de dilucidar el proceso de la migración, se han hecho experimentos con aves y peces —marcándolos para poder seguir sus movimientos— que han revelado datos interesantes.

Se ha descubierto, por ejemplo, que aves separadas de sus lugares de nidificación y soltadas en parajes desconocidos han podido encontrar el camino de vuelta. Antes de la partida, establecen la dirección que van a tomar, y la mantienen durante todo el vuelo.

Se ha pensado que las aves deben su capacidad de navegación a una extraordinaria habilidad para registrar los campos magnéticos terrestres y a su sensibilidad con respecto a la rotación de la Tierra, pero hasta el momento nadie ha sido capaz de identificar en estos animales la existencia de un órgano específico que realice estas funciones.

Se piensa que las aves que migran durante el día se basan en el ángulo que forma el Sol con el horizonte como referencia para su orientación. Cuando las aves son expuestas a fases irregulares de luz diurna —por ejemplo, al ser privadas de oscuridad durante varios días—, manifiestan disturbios en la migración y se desorientan. Con estos experimentos se consigue que el "reloj" interno se desconcierte, pero no se ha llegado a saber cuál es el modo concreto en que este "reloj" influye en la migración.

Sin embargo, no todas las aves viajan de día; se ha descubierto que las que mi-

gran de noche se orientan por medio de las estrellas. Cuando se saca una de estas aves de su nido y se introduce en un planetario en el que las estrellas tienen una conformación otoñal, se puede observar cómo se orienta en la dirección de su recorrido habitual.

También hay experimentos que revelan que los peces se valen del Sol como referencia direccional, concretamente los salmones y los peces papagayo. Pero como la luz solar únicamente atraviesa la zona superficial del agua, los peces que viven en las profundidades se tienen que basar sobre todo en las corrientes para su migración.

Los puntos de referencia (ríos, cadenas montañosas, lagos, etc.) tienen un importante papel a la hora de fijar la ruta de la migración. No obstante, los científicos creen que sólo en las grandes migraciones desempeñan efectivamente ese papel. También se piensa que los cambios ambientales de gran envergadura han tenido mucho que ver en la determinación de las rutas migratorias. Los primeros animales debieron migrar durante el período glacial, cuando su hábitat se hizo demasiado frío. Al iniciarse el deshielo, muchas aves volvieron a sus lugares de origen

para reproducirse allí donde las reservas de alimento, gracias a la escasa población, eran abundantes. Las rutas migratorias de las aves actuales, según esta teoría, son las mismas que usaron sus antepasados al final del período glacial. La lavandera boyera, por citar un ejemplo, vivía en un principio en Alaska. Los glaciares la obligaron a buscar lugares más acogedores, y hoy día dicha ave invertebra en África y en el sureste asiático. Aparte de la influencia histórica que sin duda han tenido las glaciaciones en las migraciones, éstas se producen siempre que en determinadas zonas de la Tierra aparecen recursos alimenticios temporales, pues hay especies con más movilidad que se adelantan y acuden en un momento en que la competencia por esos recursos todavía no es muy fuerte.

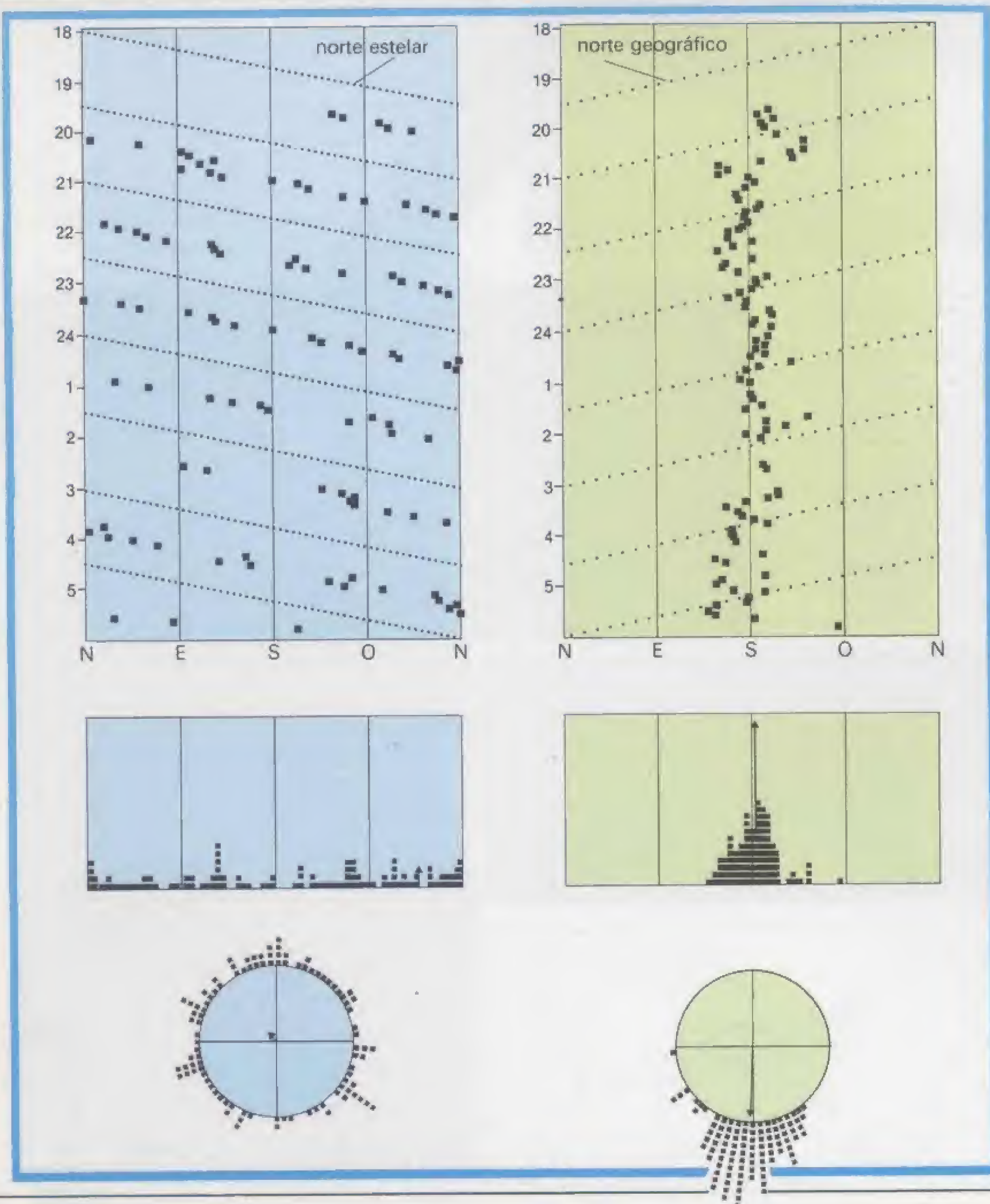
Lo mismo que en otros procesos físicos de carácter cíclico (la menstruación, por ejemplo), la periodicidad anual de las migraciones está regulada por el sistema endocrino. Se ha investigado ampliamente sobre este particular en las aves y en las anguilas. En otoño el organismo acumula grasas, que sirven de combustible durante el largo viaje. La tasa de hormonas, controlada por la hipófisis, aumenta justo an-



La migración es un desplazamiento masivo de ciertas especies animales de un lugar a otro de la Tierra en un momento dado, que coincide con unas necesidades insoslayables como pueden ser la reproducción, la necesidad de nuevos pastos o incluso, como en el caso del leming, la reducción del número de individuos

de la especie. En la foto de la derecha vemos la migración del charrán, que recorre más de 10.000 km desplazándose hacia el Norte desde su zona reproductora. En los diagramas se representan los resultados de un experimento realizado en un planetario con un grupo de aves. De arriba a abajo: orientación

según un aspecto determinado del cielo; desviación causada por un cambio en el aspecto del cielo, y pérdida de la orientación con cielo cubierto. Se deduce que las aves se orientan por las estrellas según el período del año en que se desplazan. Pero se ha comprobado que también se basan a menudo en su memoria visual.

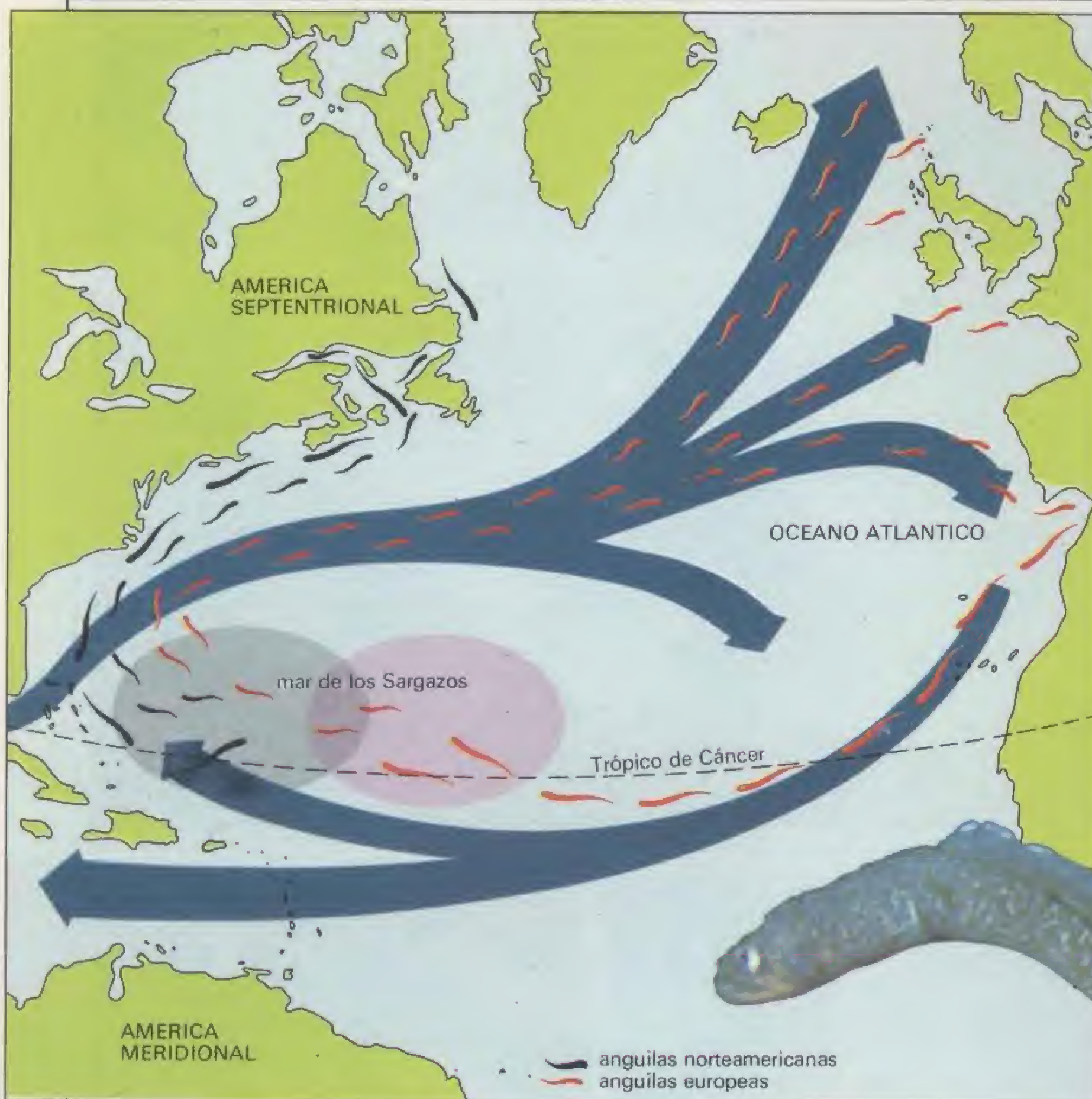


Jonathan Blair Woodfin Camp - Grazia Neri



Mediante aparatos como el embudo de Emlen (arriba), con el que se pueden registrar las preferencias direccionales de las aves en cautiverio, es posible profundizar en el estudio del fenómeno migratorio. El embudo de Emlen consiste en un cono invertido en cuya parte más estrecha se coloca un tampón entintado. El ave descansa encima del tampón, dejando un trazo cuando se desplaza. A la izquierda, registro del desplazamiento de la curruca capirotada, registrado cada cinco

minutos por un ordenador (puntos negros). En los tres diagramas azules las posiciones tienen como referencia las direcciones geográficas, y en los verdes las direcciones estelares. Como se puede observar, la curruca capirotada se orienta claramente hacia el sur estelar, sin tener en cuenta la posición geográfica. Gracias al embudo, se puede reconocer al individuo y seguir la pista de sus desplazamientos cuando eventualmente es capturado.



torno a unos 60 m de altura. Pero también hay excepciones: las ocas indias han sido avistadas a 9.000 m de altitud. En general, las aves evitan sobrevolar el océano u otras grandes extensiones de agua, así como el desierto y las cadenas montañosas.

Las especies europeas que invernan en África, casi sin excepción, siguen las rutas que van desde España a Marruecos, desde Sicilia a Tunicia o desde Asia Menor a Egipto, atravesando el mar por los estrechos. De ahí la gran importancia ecológica de las zonas húmedas del sur de la península Ibérica, tan amenazadas por la desecación y los proyectos urbanísticos o de irrigación, ya que en ellas prepara su paso del estrecho una enorme variedad de especies de aves. Las aves norteamericanas que invernan en Sudamérica rara vez sobrevuelan el Caribe, y prefieren rutas marítimas más cortas, como la que va de Panamá a Venezuela, o de Florida a Cuba y al Yucatán. En invierno América Central es la región del mundo donde se concentran más especies de aves, seguida por la península Indochina. En Norteamérica las aves, por lo general, migran de norte a sur,

A los doce o trece años las anguilas alcanzan la madurez

sexual completa. Los adultos, partiendo de los pantanos y lagunas, llegan hasta el mar de los Sargazos, donde se reproducen a una profundidad considerable. Las jóvenes anguilas, poco tiempo después de su nacimiento, inician el viaje de retorno.

tes de la migración. Pero estos cambios, por sí solos, no inducen a las aves a emprender el vuelo, ya que también las condiciones ambientales (la temperatura, la velocidad y dirección del viento, las reservas de alimento, etc.) tienen un papel nada despreciable.

Las costumbres migratorias de las aves Dado que la migración de las aves es uno de los fenómenos cíclicos naturales más fáciles de observar, las costumbres migratorias de estos animales se han estudiado con gran detalle. El recorrido de las migraciones de las aves puede ser muy largo. El récord son los casi 18.000 km que recorre el charrán ártico desde las playas más septentrionales de Norteamérica, Asia y Europa hasta la Antártida, donde se reproduce.

Muchas aves migran en bandadas aun cuando el resto del año vivan solitarias o en pequeños grupos. Las ocas, patos, pelícanos y grullas vuelan en bandadas con forma de V, con el vértice en la dirección de la marcha. Las aves vuelan más deprisa durante las migraciones: así, los estorninos alcanzan velocidades comprendidas entre 68 y 78 km/h; los charranes comunes, entre 50 y 70 km/h; las cornejas, entre 50 y 72 km/h. Numerosas aves migran a baja altura. Los páseriformes, por ejemplo, en su migración se mantienen en

La tortuga verde del Atlántico emprende todos los años un largo viaje, desde las costas de América del Sur hasta la isla de Ascensión (mapa de abajo), para poner sus huevos. Cuando llegan a las proximidades de la isla, cada una de las tortugas espera a la noche para ganar la orilla y cavar un pequeño hoyo donde pone los huevos.



si bien las ocas canadienses lo hacen de oeste (bahía de Hudson) a este (bahía de Chesapeake). Las especies de Europa occidental migran en menor cantidad (debido al clima templado) que las de Europa oriental. En África y en otras áreas tropicales los módulos migratorios están relacionados con la alternancia de estación húmeda y seca. El ecuador hace de límite para muchas especies, que no lo atraviesan, y en general sirve para regular las migraciones, de forma que muchas aves sólo migran cierto número de grados de latitud acercándose o alejándose del ecuador.

Costumbres migratorias de los peces

Al igual que las aves, algunos peces emprenden largas migraciones en busca de alimento. El atún blanco, por ejemplo, migra desde aguas de las Azores y las Canarias hasta las lejanas aguas de Islandia. Otros, como los salmones, viven en el mar pero migran a las aguas dulces para reproducirse. En otros casos, como el de la anguila europea y la norteamericana, sucede lo contrario. Los salmones tienen unas extraordinarias pautas de migración. Depositan los huevos en el lecho de los ríos y lagos de aguas frías. Los jóvenes permanecen allí entre 2 y 6 años, y luego, una vez alcanzada la madurez, migran al mar, donde viven bastantes años antes de emprender el camino de vuelta para depositar los huevos y morir. Muchas veces recorren grandes distancias. Se ha demostrado que el salmón navega ayudándose de la posición del Sol, y es capaz de reconocer su lugar de nacimiento por medio del olfato, la temperatura del agua y la forma de las rocas.

Las costumbres migratorias de los mamíferos Muchos de los mamíferos terrestres carecen de costumbres migratorias. Entre los mamíferos que migran se encuentran los caribús, que en julio emprenden el viaje desde las regiones árticas de Norteamérica hacia el sur, para vagabundear sin meta por las landas noroccidentales (tierras con escasa vegetación). Los alces, el bighorn blanco y los ciervos migran siguiendo rutas circulares por las llanuras norteamericanas.

En África, las cebras y los ñus migran guiados por la estación de las lluvias. Las manadas viajan unos 1.600 km, reagrupándose durante la estación seca junto a los oasis y pozos de agua.

Muchos murciélagos de Europa, Asia y América del Norte son migradores. El murciélago orejado inverna en Brandemburgo hasta marzo o abril, y luego parte hacia el norte de Alemania. Las especies norteamericanas pasan el verano en Nueva Inglaterra, Canadá y la parte septentrional del Mid West, e invernan en el sur de Georgia y Florida.

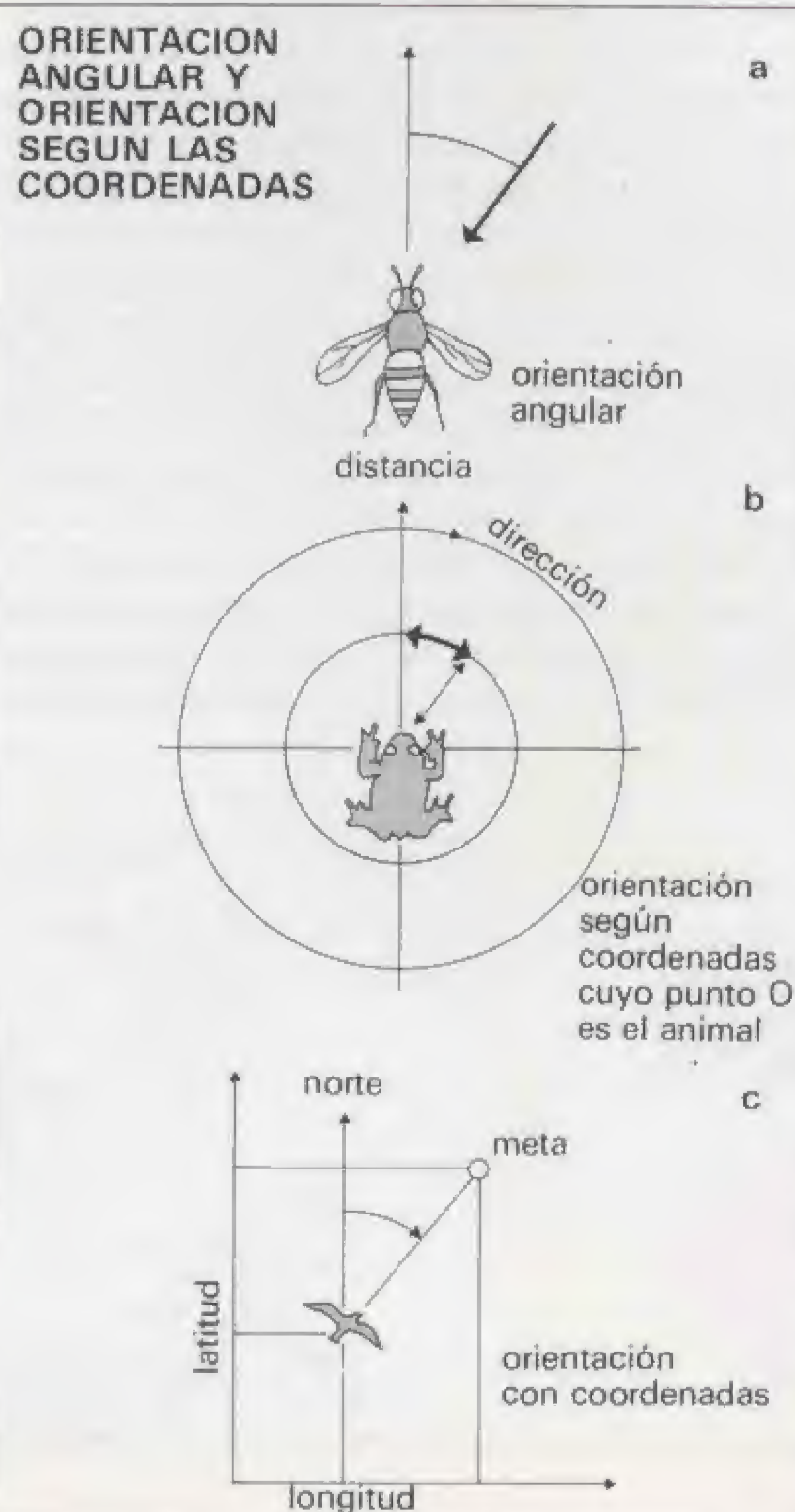


Los lemmings (izquierda) son famosos por las migraciones que realizan cuando su población ha proliferado demasiado. Igual ocurre con las langostas migradoras, como la langosta del desierto (*Schistocerca gregaria*): cuando en sus zonas de reproducción disponen de suficiente espacio vital, son de color verde y se quedan en el lugar; en cambio, si su número llega a ser excesivo, se vuelven gregarias, de color oscuro, y forman las famosas nubes que pueden llegar a tener miles de millones de individuos.



Las mariposas *Danaídas* se reúnen para emprender largas migraciones, en el curso de las cuales se detienen varias veces para descansar. Abajo, tipos de orientación

animal. En a, orientación "por brújula", o sea, angular; en b, orientación vectorial, y en c, orientación de navegación.



Rachel Lamoreux-Camera Press-Foto Neri



Mimetismo animal

El eterno desafío entre depredador y presa, entre cazador y cazado, recuerda un poco a un gigantesco juego del escondite. La capacidad de adaptación, puesta de manifiesto por la selección natural, favorece a la presa cuando tiene que esconderse del depredador, y al depredador cuando está buscando a la presa. El término *mimetización* se emplea para designar cualquier sistema adoptado por un animal para enmascarar su identidad o su presencia, evitando de esta forma que sus depredadores o sus presas le identifiquen.

Semejanza imitativa Para evitar ser vistos, los animales tienen que reducir las informaciones visuales que proporcionan. Se mimetizan falsificando los principales indicios visibles que les pueden delatar, o incluso minimizando los indicios de su presencia. Por ejemplo, se pueden esconder confundiéndose con el medio que les rodea (*semejanza imitativa*). En estos casos, los animales pueden asumir ciertas formas, colores y posturas que les hacen parecerse a objetos inanimados, como las hojas o ramas de un árbol, u otros objetos del entorno. Una de las adaptaciones protectoras es la coloración críptica, gracias a la cual un animal se confunde perfectamente con el fondo del ambiente natural, y que alcanza gran eficacia si el animal tiene un comportamiento (que suele ser la inmovilidad) adecuado para que no le reconozcan.

Mimetismo en la coloración Uno de los ejemplos más corrientes de mimetismo es la adopción, por parte de una especie, de una coloración que la camufla en su ambiente. Entre los casos más típicos podemos citar el de los huevos de los peces, que son transparentes para confundirse con la uniforme transparencia azulada del agua marina, y el pelo blanco del oso polar, que se confunde con la nieve. La adaptación al medio puede consistir en dibujos cromáticos complicados, o bien en una sola coloración adecuada. El papagayo, por ejemplo, con sus vivos colores, tiene un plumaje que se confunde magníficamente con los juegos de luces y sombras que producen los rayos solares entre el follaje de las plantas de los ambientes tropicales.

También hay ciertos animales capaces de adaptarse a los posibles cambios de color del ambiente en el que viven, para

En la parte inferior de esta página se recoge un esquema de funcionamiento del mimetismo. En unas células especiales hay pigmentos de

diferentes colores. Bajo la influencia de determinadas hormonas, las células se colorean completamente y se sitúan en la superficie de la dermis.

lo cual tienen que ser capaces de identificar los cambios y poderlos imitar. Estos cambios pueden ser rápidos o lentos; las adaptaciones repentinas de color, que tienen lugar cuando el animal se desplaza a otros lugares, se ponen a veces de manifiesto con una versatilidad realmente increíble. El célebre camaleón puede pasar del marrón al verde según el color del lugar en el que se encuentre; pero, sin duda, un ejemplo todavía más sorprendente es el de cierto pez del Caribe que en pocos minutos puede adquirir ocho coloraciones distintas. Tales cambios están regulados

por mecanismos neurológicos y hormonales: un animal puede cambiar de color como consecuencia de lo que él mismo percibe, o debido a un efecto directo de la luz sobre su piel. Los pequeños mamíferos que cambian gradualmente el color de su pelo hacia tonalidades más pálidas para adaptarse a las nieves invernales constituyen un ejemplo de los cambios estacionales de coloración.

La araña cangrejo cambia de color según la estación del año: cuando empieza la primavera, tiene color blanco, asemejándose a las flores blancas sobre las que vive, y más tarde pasa a tener un color amarillo cuando los campos se llenan de flores amarillas.

El caracol *Cepaea*, sin embargo, no es capaz de cambiar el color de su concha a medida que el color del entorno en el que vive va pasando del amarillo al verde y al marrón. Pero hay determinados indivi-





A la izquierda, un pez piedra (*Synanceia verrucosa*) camuflado entre las piedras de un arrecife de coral. Por si no fuera suficiente la defensa que le proporciona el mimetismo, también dispone de unos fuertes aguijones con los que puede herir, incluso de muerte, al incauto agresor. En las fotos de la derecha, arriba, *Phyllium crucifolium*, un insecto difícil de distinguir entre la maraña de hojas de las plantas a las que se asemeja. Más abajo, una mantis religiosa que se

mimetiza, gracias a la forma de su cuerpo alargado, con los tallos de hierba. A continuación vemos una víbora de Gabón, venenosa, cuyo cuerpo grueso y pesado está adornado por unas bellas manchas que de la cabeza a la cola van haciendo dibujos a base de rectángulos, losanges y triángulos negros, marrones, leonados y abigarrados muy bien adaptados al fondo del sotobosque ecuatorial. Finalmente, una liebre americana con un pelaje que la hace difícil de ver en el paisaje invernal.



éste se mueve por los cañaverales o entre las hierbas altas.

El esquema de la coloración también puede engañar acerca de la orientación de un animal (es decir, de la posición de su cabeza). Así, por ejemplo, ciertas mariposas tienen unas vistosas manchas imitando a ojos en la parte posterior de sus alas, y una pequeña máscara negra que esconde los verdaderos ojos. Esto induce a error a los depredadores, que así atacan primero el lado menos vulnerable.

También la sombra que proyecta un cuerpo puede ser delatora. La luz, generalmente, ilumina las partes superiores del cuerpo y deja en la sombra las inferiores. El contrasombreado mimético, que consiste en que las partes superiores del cuerpo sean más oscuras que las inferiores, minimiza las posibilidades de identificación haciendo más uniforme el tono del cuerpo y reduciendo el contraste.

Muchos animales venenosos o de mal sabor tienen una coloración "de advertencia", muy vistosa, que avisa a los posibles depredadores de que no son comestibles; pues bien, una de las formas más ingeniosas de mimetismo es parecerse a estas especies: hay moscas que se parecen a avispa, serpientes inofensivas parecidas a otras venenosas, peces carnívoros muy semejantes a otros que quitan los parásitos a algunos peces, etcétera.



Semejanza protectora La forma del animal puede contribuir también a que se confunda con el ambiente, lo que recibe el nombre de *semejanza protectora*. Por ejemplo, hay muchos insectos con forma de rama o espina. El avetoro tiene una mimetización tan eficaz que también es llamada *ave invisible*. Cuando se mantiene derecha sobre sus patas, estira el cuello hacia arriba y se parece a una caña. Esto demuestra la importancia que tiene el comportamiento para la mimetización. La regla general de comportamiento es la inmovilidad, y hay ciertos animales que resaltan su mimetización colocándose en determinadas posturas.



duos dentro de la misma especie cuyas conchas tienen esos colores, lo que aumenta la capacidad de supervivencia de algunos ejemplares cuando cambian las estaciones.

Otros animales se mimetizan con su ambiente de una forma muy ingeniosa. Por ejemplo, el cangrejo peludo recoge algas y esponjas vivas y se las coloca sobre el caparazón, donde estas formas miméticas vivientes siguen desarrollándose.

Otra estrategia, la de la coloración desorganizada, consiste en una falsificación de la información visual proporcionada. La coloración puede dar una información equivocada acerca de la identidad del animal, su posición o su orientación. La coloración desorganizada, o disyuntiva, sirve para alterar la forma del animal haciendo que aparezca con un perfil distinto. A menudo los dibujos coloreados son vistosos y contrastan unos con otros, imitando más o menos las características de un fondo lleno también de contrastes. Encontramos ejemplos de este tipo de coloración en peces, ranas o reptiles con grandes manchas o bandas negras bien patentes. Además, hay algunos animales capaces de variar su coloración disyuntiva para acomodarse a los eventuales cambios del medio.

También hay coloraciones disyuntivas que mimetizan el movimiento: así, las rayas negras de los tigres y de ciertas serpientes son ciertamente muy visibles en las zonas abiertas, pero son muy eficaces para la mimetización del animal cuando

Véase **Animales; Animales en peligro de extinción; Evolución animal**

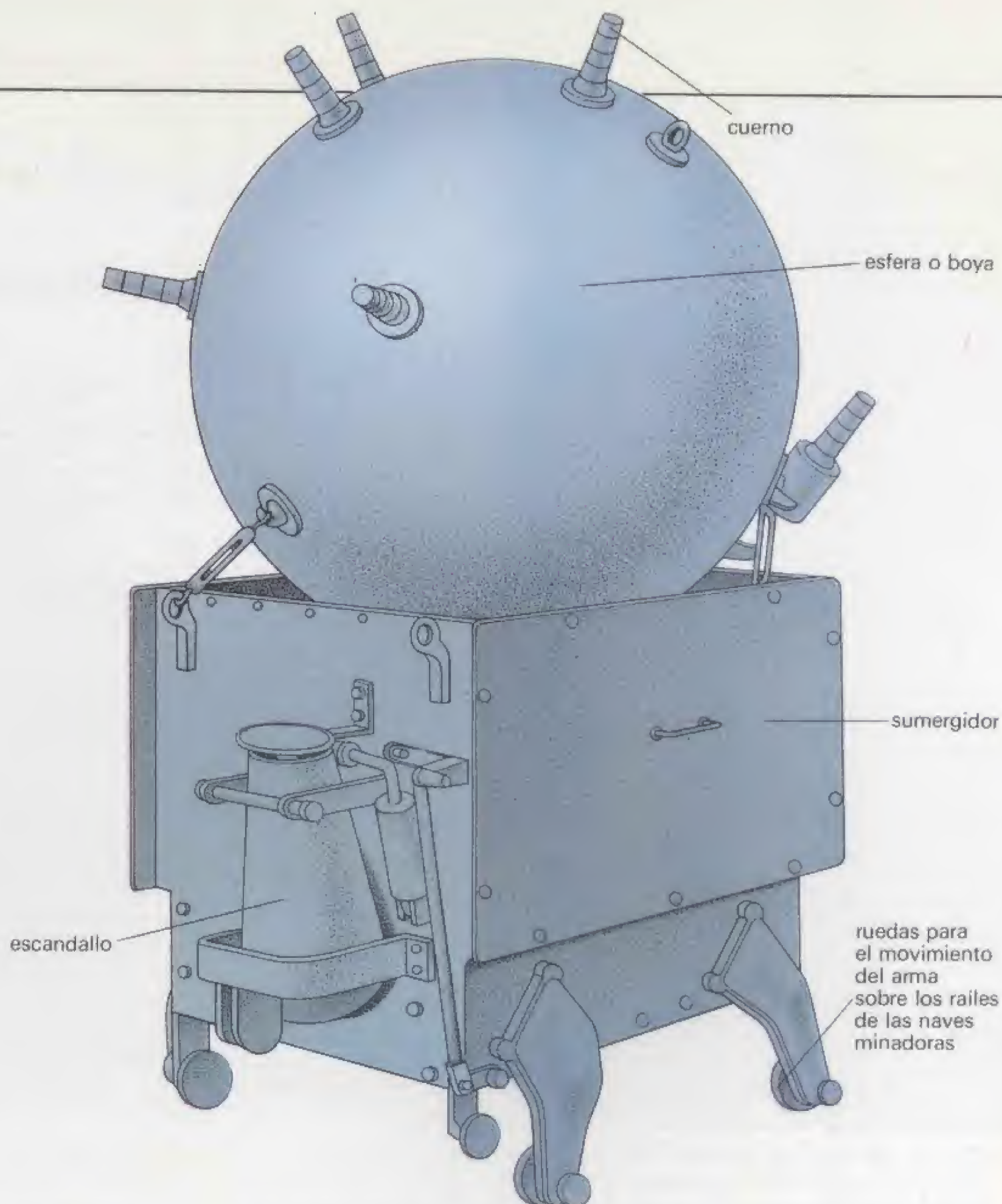
Mina naval

En el siglo XVI, un viejo barco fue llenado de pólvora y abandonado sin tripulación para que fuese arrastrado por la corriente hacia una estacada flotante enemiga. En el momento en que la nave chocó contra la estacada, ambas saltaron por los aires por efecto de la explosión. Esta nueva arma, inventada por el italiano Federico Giambelli, en aquel tiempo al servicio de los holandeses en la guerra contra España, puede ser considerada como precursora de la mina naval. Desde entonces, las minas navales han ido construyéndose cada vez más pequeñas pero no menos destructoras. Las modernas minas son fundamentalmente cargas explosivas, dotadas de varios tipos de mecanismos detonadores y colocadas dentro de cubiertas esféricas o cilíndricas de acero o de aluminio. Las minas esféricas, generalmente del tipo de *amarre*, tienen un diámetro de aproximadamente un metro y un peso que varía de media a una tonelada; casi la mitad de este peso lo constituye la carga explosiva. Una mina cilíndrica del tipo de *fondo* tiene más o menos el mismo peso, un diámetro de unos 46 cm y está cargada con 270 kg de explosivo aproximadamente.

Tipos de minas Las minas navales modernas se diferencian entre sí en muchos aspectos, entre ellos el tipo de empleo y el sistema de colocación. Las minas de fondo, como la palabra indica, están concebidas para ser colocadas sobre el fondo del mar. Se utilizan en aguas poco profundas de forma que puedan hacer explosión bajo los efectos de sus mecanismos "de proximidad", sin que tenga lugar un contacto directo con el casco de las naves enemigas. Las minas de amarre, en cambio, flotan y se matienen a un determinado nivel bajo el agua por medio de un cable (*orinque*) unido al fondo del mar. Las minas errantes (o a la deriva) están asimismo construidas para flotar en la superficie o a una determinada profundidad. A causa de la imposibilidad de influir sobre sus movimientos una vez en el agua, las convenciones internacionales exigen que sean construidas de modo que puedan desactivarse automáticamente después de un breve lapso de tiempo, al objeto de disminuir los riesgos de la navegación ordinaria una vez acabada la conflagración.

Las minas navales se diferencian entre sí también según el modo en que se hacen explotar. Las minas de contacto requieren un contacto directo con la nave, mientras que las minas con dispositivos de proximidad hacen explosión por los diversos efectos que la nave origina en los sensores de la mina.

Las minas de contacto están dotadas de una antena o de puntos salientes (*cuernos*). Cuando las puntas o la antena chocan con el casco de una nave, activan la mina por medio de una acción electroquímica, galvánica o de un interruptor de contacto. Los dispositivos de choque de tipo electroquímico están dotados de células con electrodos cinc-carbono, mientras que

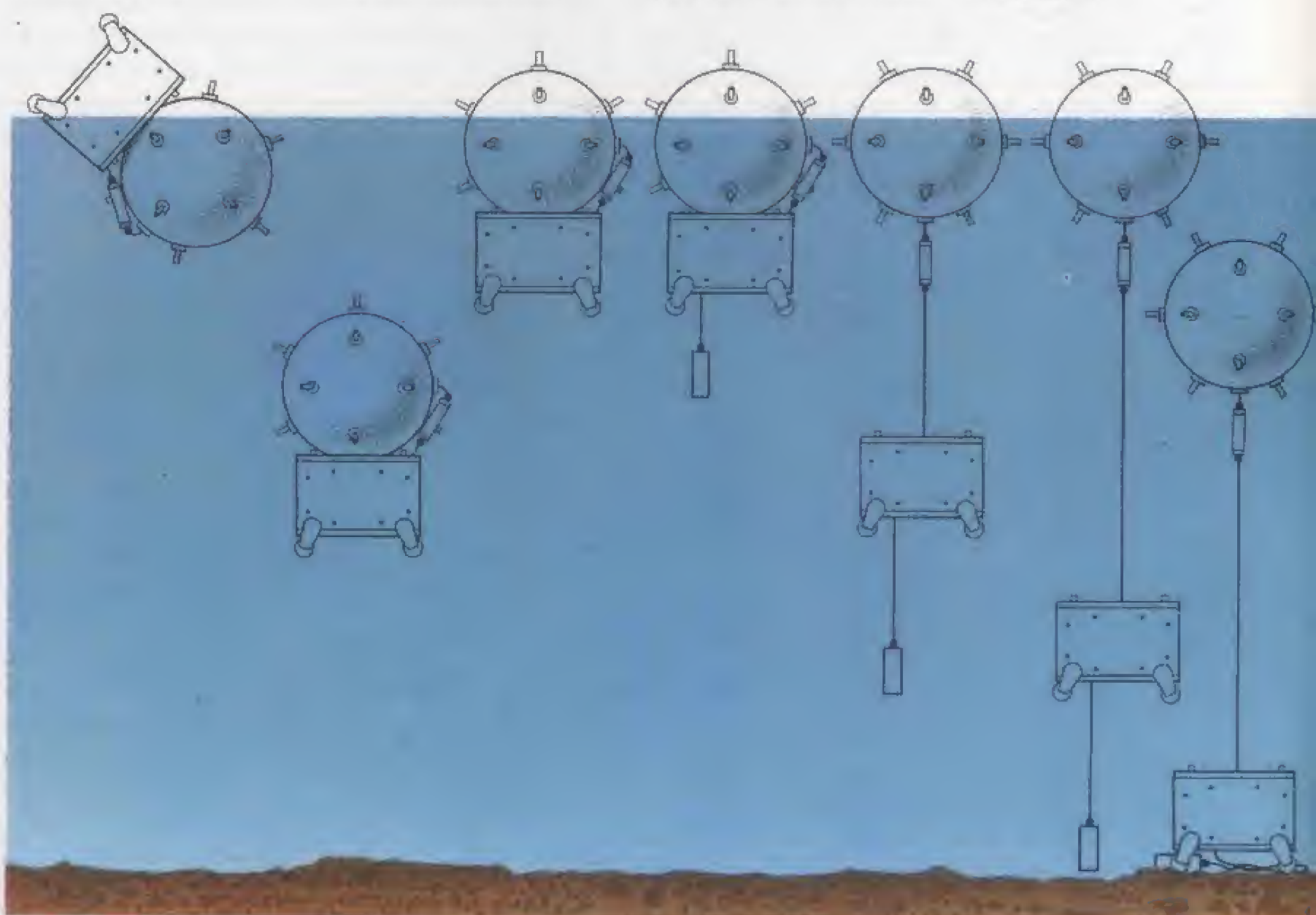


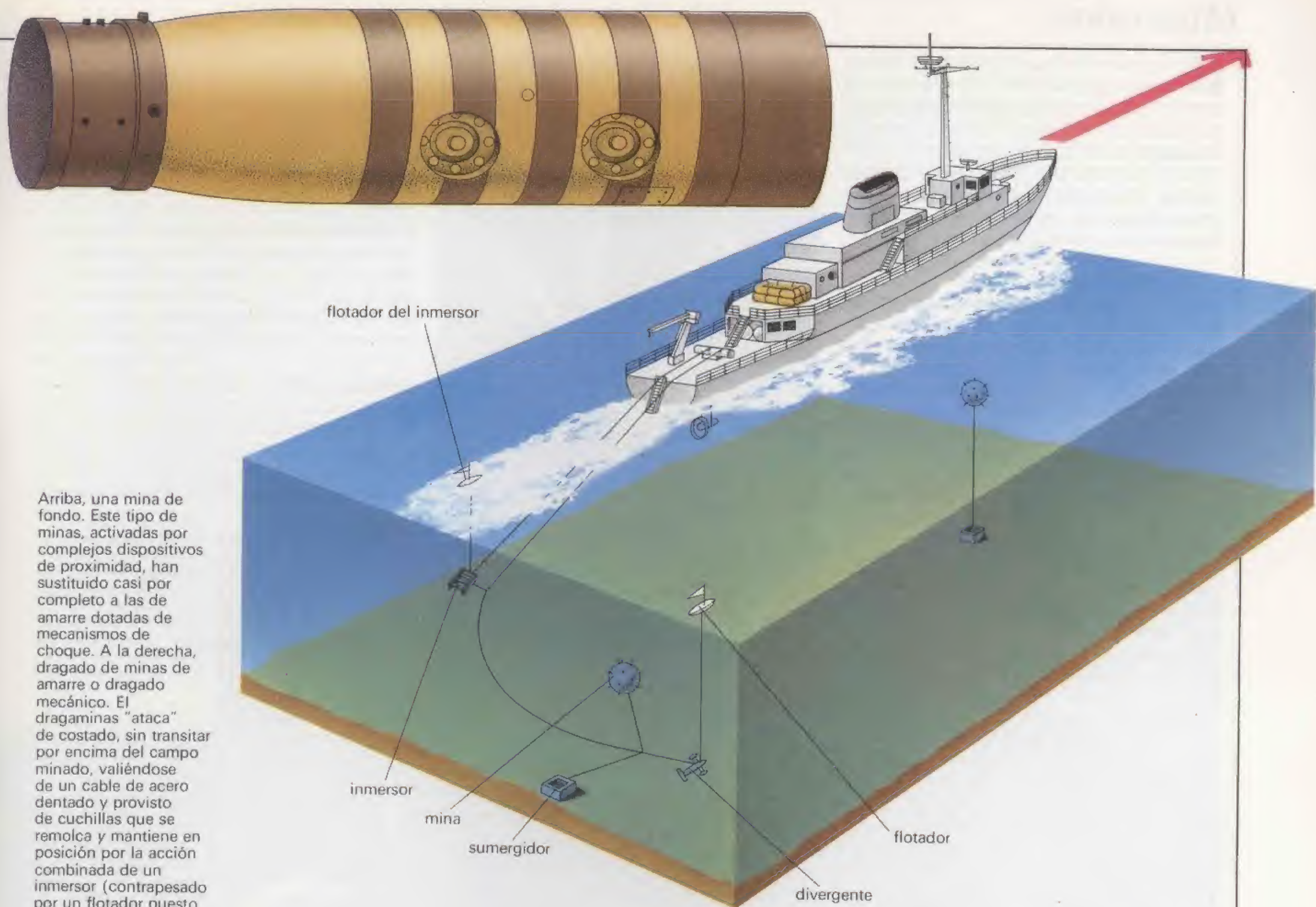
Sobre estas líneas vemos una mina de amarre. La parte esférica superior es la verdadera mina; la inferior está constituida por el sumergidor, que actúa como un ancla.

En el dibujo que hay abajo, fases de la colocación de una mina de anclaje automático. Después del lanzamiento al mar, del sumergidor se desprende un peso, llamado *escandallo*,

unido con un cable de acero que se desenrolla hasta una longitud determinada. A continuación empieza a desenrollarse el cable de flotación (*orinque*) contenido en

el sumergidor. Cuando el escandallo toca fondo, el orinque se bloquea y el sumergidor arrastra a la esfera hasta una profundidad igual a la longitud del cable del escandallo.





Arriba, una mina de fondo. Este tipo de minas, activadas por complejos dispositivos de proximidad, han sustituido casi por completo a las de amarre dotadas de mecanismos de choque. A la derecha, dragado de minas de amarre o dragado mecánico. El dragaminas "ataca" de costado, sin transitar por encima del campo minado, valiéndose de un cable de acero dentado y provisto de cuchillas que se remolca y mantiene en posición por la acción combinada de un inmersor (contrapesado por un flotador puesto

el líquido electroquímico va contenido en una ampolla de vidrio colocada dentro del cuerno, que es de plomo. Cuando éste es aplastado por la nave, el contenedor se rompe, el líquido fluye en la célula y se produce así una corriente eléctrica que se envía al detonador, el cual hace que la mina estalle. Las minas de contacto con dispositivos galvánicos emplean puntos de choque de cobre y una antena del mismo metal sostenida por un flotador situado por encima de la mina. Cuando los puntos o la antena chocan, se genera una corriente que hace explotar la mina. Las minas con interruptores de contacto estallan cuando el choque con una nave produce el cierre de un circuito eléctrico alimentado por una batería unida al detonador.

Las minas de profundidad reaccionan con el campo magnético de la nave (mina magnética), con el campo sonoro (mina acústica), con la presión (mina a presión) o con la combinación de dos o más de los elementos mencionados (minas de acción combinada). Un cierto número de componentes es común a estas minas. El *elemento sensible* en una mina magnética puede estar constituido por un conjunto de agujas magnetizadas, una bobina o un magnetómetro (que mide la variación del campo magnético provocada por el paso de

un casco metálico). Un hidrófono (que es un particular micrófono o transductor que reacciona a las ondas sonoras generadas en el agua) o una lengüeta vibrante pueden constituir el elemento revelador de una mina acústica, mientras que las minas a presión funcionan con un dispositivo revelador de la variación de presión provocada por el paso de una nave. El *dispositivo de cebo* en todas estas minas recibe señales del elemento sensible y proporciona al detonador un impulso para la explosión. Una vez cebado, el detonador hace estallar una carga secundaria que a su vez provoca la explosión de la carga principal.

Generalmente hay unos dispositivos de seguridad que separan el detonador de la carga secundaria (o *multiplicador*) hasta el momento en que se active la mina. Las distintas formas de hacer estallar o activar una mina varían según el tipo. Pueden activarse, explosionarse o ser desactivadas por estaciones situadas en tierra, mediante cables eléctricos de enlace o por impulsos de ultrasonidos.

Las minas navales se pueden colocar de diversos modos, por lo general siguiendo un esquema superficial. Los buques de superficie las dejan caer en su propia estela, los submarinos las pueden lanzar a través de los tubos lanzatorpedos

a popa) y un divergente puesto en la extremidad del cable y sostenido por otro flotador. Cuando el cable orinque de una mina entra en contacto con el de dragado, se corta aquél y la mina sube a la superficie donde puede ser fácilmente destruida. Para el dragado de

minas magnéticas, los dragaminas están contruidos con materiales magnéticos y remolcan cables eléctricos mediante los cuales se crea un fuerte campo magnético con el objeto de hacer explosionar las minas a una distancia de seguridad.

y los aviones las arrojan con paracaídas que amortigüen el efecto del impacto sobre el agua.

Para hacer posible la navegación de la flota propia o neutral se levantan mapas de las barreras de minas establecidas.

Las contramedidas para las minas navales comprenden buscadores de minas basados en dispositivos acústicos o electromagnéticos y naves especiales, llamadas *dragaminas*, convenientemente preparadas para la localización, rastreo o destrucción de las minas, ya sean de amarre o de fondo.

Recientemente, para el dragado de las minas han sido utilizados también los helicópteros, haciéndoles remolcar unos flotadores especiales.

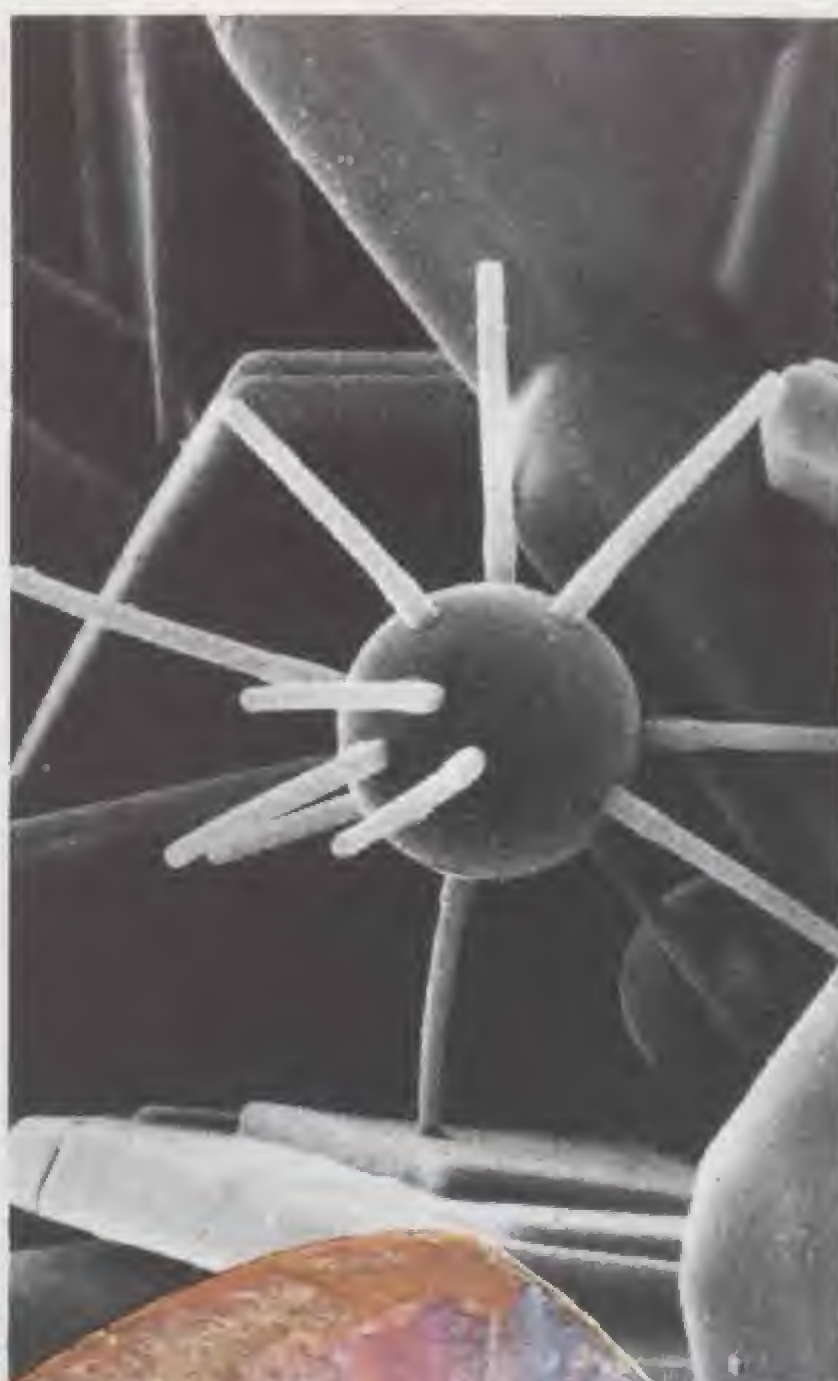
Véase Bomba y mina; Explosivos; Radar; Sonar; Torpedo y otras armas subacuáticas

Minerales

Hay pocas sustancias sobre la Tierra que puedan igualar la belleza de las gemas: los diamantes resplandecientes, las verdes esmeraldas, los rojos rubíes, los azules zafiros y los ópalos multicolores. Sin embargo, las gemas no son los únicos minerales que existen; hay muchos miles más: algunos raros, como el oro, otros comunes, como el cuarzo.

Definición de los minerales Los minerales son sustancias que se han formado en el interior de la Tierra o en su superficie. Y no sólo existen en nuestro planeta, sino también en planetas lejanos, en los meteoritos y en los cometas. Las rocas están constituidas por minerales, algunos de los cuales están compuestos por un solo elemento, como el oro "nativo", el platino, el mercurio o el grafito (que es carbono puro), si bien la gran mayoría se compone de dos o más elementos, que forman un compuesto. Por ejemplo, la pirita es FeS_2 (es decir, está compuesta por hierro y azufre), el caolín es $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (aluminio, silicio, oxígeno e hidrógeno) y la galena es PbS (plomo y azufre).

Puesto que los minerales son, en general, químicamente estables, pueden tener



una duración ilimitada siempre que se den las condiciones físico-químicas adecuadas. Algunos de los minerales que se han encontrado en la Luna tienen miles de millones de años. Los minerales más antiguos hallados sobre la Tierra datan de hace 4.000 millones de años.

Formas de los minerales La formación de un mineral, el cuarzo por ejemplo (SiO_2 , silicio y oxígeno), se lleva a cabo mediante la disposición de los átomos de los elementos componentes según una configuración geométrica invariable y tiene lugar en un intervalo de tiempo que puede ser muy variable según el medio geológico en que se efectúe. El resultado es un cristal lo bastante grande como para ser observado (a veces llegan a ser gigantes) y que tendrá una forma geométrica específica a causa de su disposición ató-

La mayor parte de los minerales se presenta bajo forma de cristales: forma externa geométrica definida por caras planas que se cortan según ángulos diedros. Pero también existen minerales que se

presentan en forma amorfa (no cristalina). Por ejemplo, el ópalo (abajo) es una variedad de SiO_2 coloidal amorfa. Al microscopio electrónico (arriba), presenta una estructura esferulítica con extensiones filiformes.

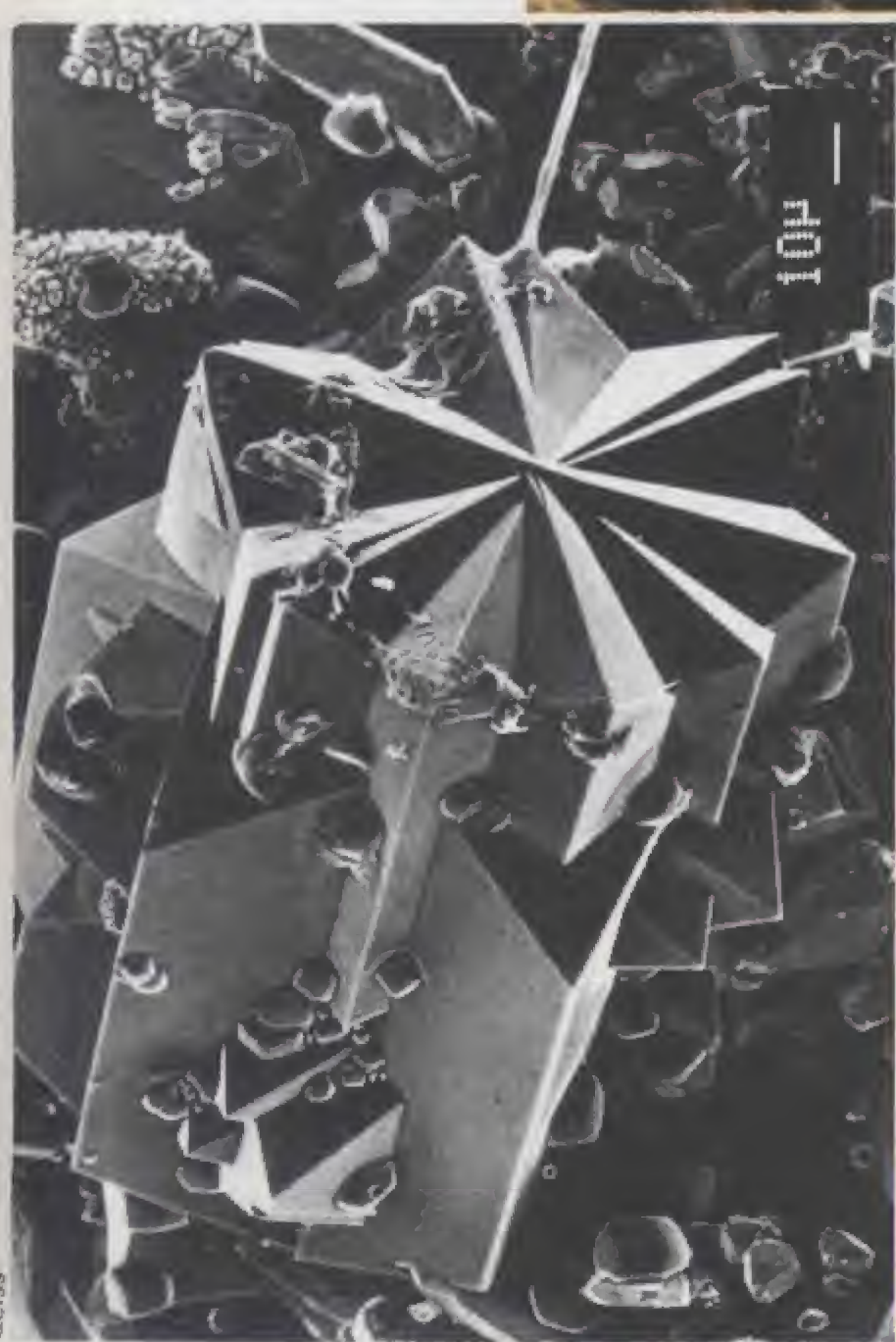


mica. Ninguna de las estructuras que se forman por causas naturales sobre la Tierra muestra una regularidad igual a la de una estructura cristalina.

Todos los minerales tienen sus formas características, y son la expresión externa de su estructura cristalina. La sal gema (cloruro de sodio) —que es la sal común empleada en cocina— es siempre cúbica; la calcita presenta frecuentemente los cristales romboédricos, etc. Los cristalógrafos han clasificado los minerales según los ángulos de las caras correspondientes de los cristales. Las disposiciones posibles son treinta y dos.

En la Naturaleza, los cristales perfectos son muy raros, puesto que unos minerales interfieren con otros durante su crecimiento, y, consecuentemente, la forma final será distinta que si hubiesen crecido libremente.

En la fotografía pequeña, bajo estas líneas, una macra de turmalina vista al microscopio electrónico. Se observa muy bien la estructura cristalina de este mineral.



Las turmalinas se presentan en cristales transparentes o translúcidos, prismáticos y más o menos alargados. Existen diversas variedades de turmalinas, que reciben distintos nombres según su composición, la cual se refleja en el color del mineral. A la derecha, una turmalina verde.

La composición química de los minerales Los minerales se pueden definir también a partir de su composición química, aunque a menudo ésta puede ser compleja. La caracterización química completa de un mineral requiere un cuidadoso análisis cuantitativo del mismo en laboratorios dotados adecuadamente. No obstante, existen, para muchos minerales, métodos sencillos de identificación cualitativa fácilmente accesibles.

Con un ensayo a la llama, geólogos, prospectores y simples coleccionistas pueden identificar muchos minerales sobre el terreno. Algunos elementos metálicos colorean la llama: el sodio, por ejem-

plo, le da un color amarillo; el cobre y el potasio, naranja, verde o azul. De esa manera se puede identificar, al menos, la presencia de doce metales.

La manera en que un mineral reacciona con los ácidos ayuda también a determinar rápidamente su naturaleza. Asimismo, algunos minerales son magnéticos y pueden ser identificados rápidamente gracias a esa propiedad.

Principales características físicas de los minerales Los minerales se pueden clasificar según su dureza. Para ello se utiliza una escala de durezas. El talco, el mineral más blando, tiene dureza 1; el yeso, 2; la calcita, 3; la fluorita, 4; el apatito (el mineral principal en los huesos y en los dientes), 5; el feldespato, 6; el cuarzo, 7; el topacio, 8; el corindón, 9; y el diamante, el mineral más duro (y también la sustancia

más dura que se conoce), 10. Una comparación con algunos objetos corrientes puede ayudar a comprender mejor el significado de esta escala. Una uña tiene dureza 2,5; una moneda de cobre, 3; un vidrio, 5,5; una hoja de acero, 6,5. Puesto que los minerales más duros rayan a los más blandos, los geólogos pueden realizar fácilmente pruebas de dureza para la identificación de los minerales en el campo, sin más que llevar un conjunto de ejemplares de dureza conocida.

La identificación de los minerales se puede efectuar a menudo en base a su densidad, cuyo valor caracteriza a mu-

lor absoluto al volumen del mineral). La densidad se determina dividiendo el peso en el aire por el resultado de la diferencia anteriormente obtenida.

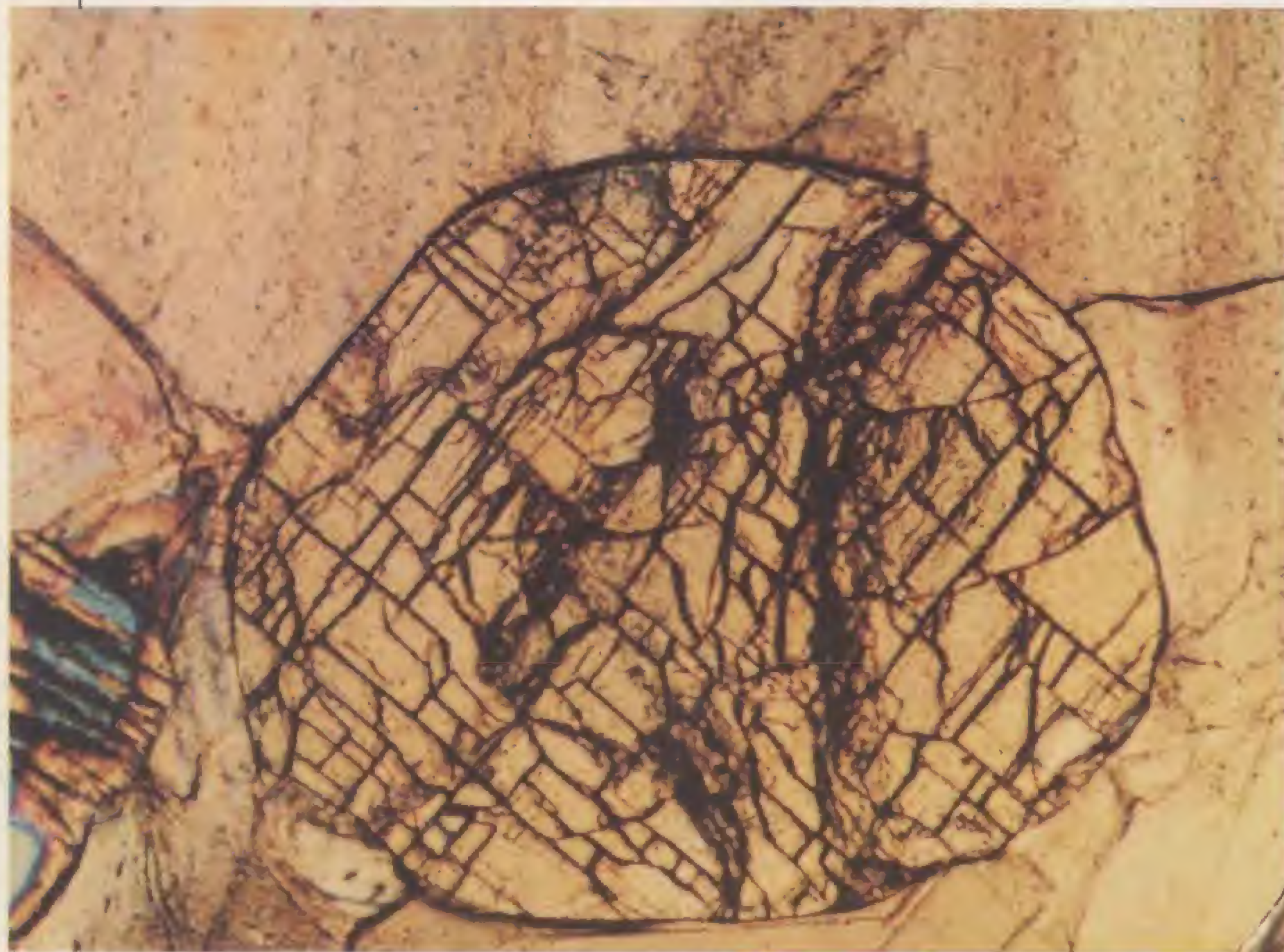
Por ejemplo, se podría determinar que una cierta cantidad de tremolita pesa 60 gramos en el aire y 40 gramos en el agua. La diferencia de peso es de 20 gramos. La densidad se obtiene dividiendo 60 entre 20; resulta ser igual a 3. A título meramente indicativo, la densidad del azufre es 2; la del cuarzo, 2,7; la del topacio, 3,5; la del oro, 19,3.

Algunos minerales muestran una exfoliación particular, es decir, una manera de-

terminada de romperse a favor de superficies cristalográficas concretas. La mica, por ejemplo, tiene una exfoliación natural en hojas, mientras que la galena se exfolia en cubos. Algunos minerales muestran fracturas características o maneras distintas de romperse según superficies irregulares. Cuando la obsidiana, que es un vidrio volcánico y por tanto con estructura cristalina, se rompe, la superficie de la fractura es curva y muestra a manera de surcos con una disposición concéntrica. Es lo que se denomina *fractura concoidea*.

Hay también otras propiedades físicas que pueden ayudar a identificar los minerales. Así, algunos muestran fluorescencia cuando se les irradia con luz ultravioleta. También las propiedades ópticas, como el índice de refracción de la luz de una determinada longitud de onda al atravesar el cristal, pueden ser muy útiles a la hora de la identificación del mineral.

Rocas y minerales Todas las rocas de la Tierra están formadas por minerales. Aunque algunas estén enteramente constituidas por un solo mineral, como la sal gema, el azufre o el yeso, la gran mayoría de las rocas está formada por dos o más minerales.



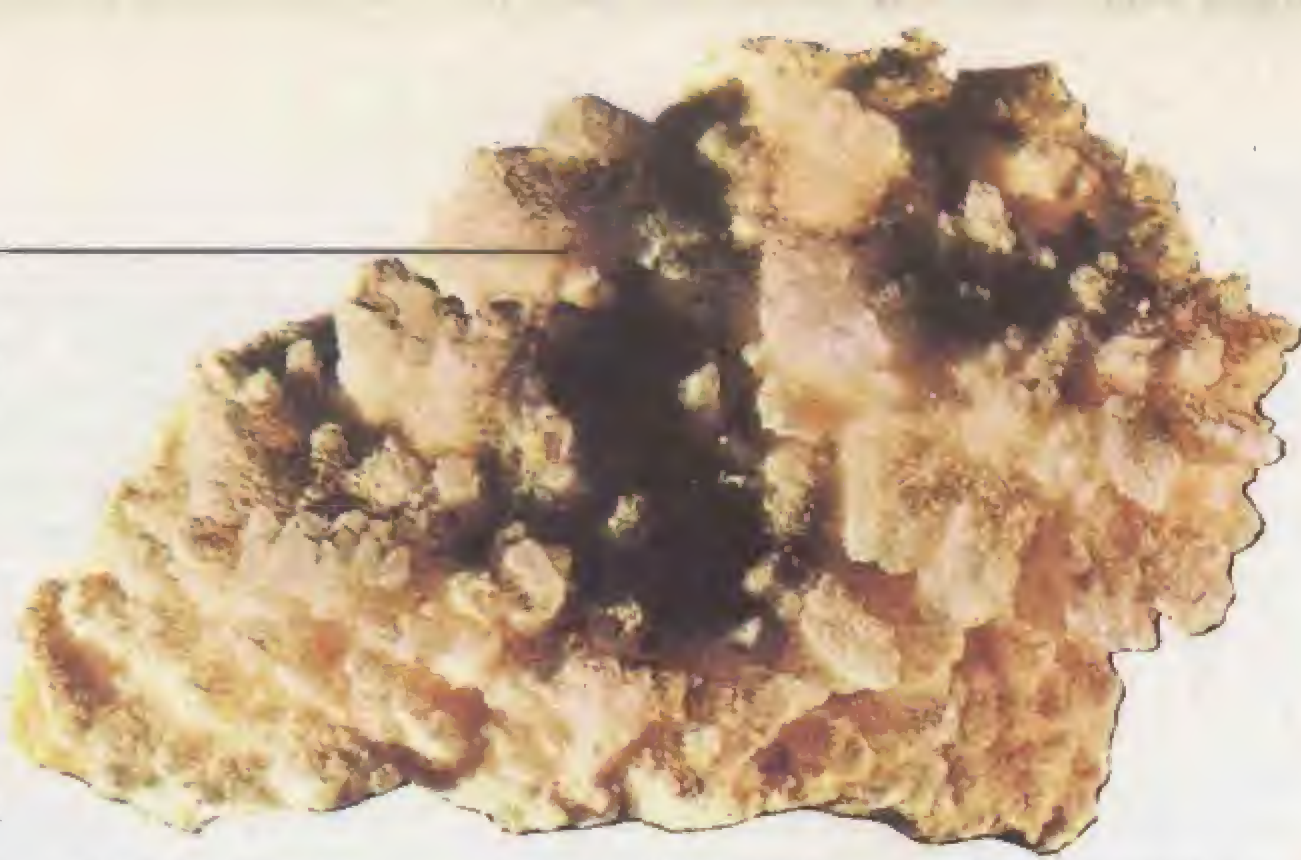
Los minerales pueden romperse según superficies irregulares (fractura) o según planos regulares paralelos a las caras (exfoliación). Todos los minerales se fracturan de manera indiferente; sin embargo, la exfoliación es típica sólo de algunos minerales. A la derecha, cristales de albita con láminas intercrecidas de moscovita. Esta última se presenta en laminillas que se exfolian con extrema

facilidad. A menudo la exfoliación sólo resulta visible con la ayuda del microscopio, puesto que posibilita ver las minúsculas fisuras laterales que los cristales presentan antes de que se haya producido la separación completa de las distintas partes. Sobre estas líneas, un piroxeno visto al microscopio, con sus dos sistemas característicos de planos de exfoliación a noventa grados.

chos minerales. La densidad de un mineral (o de cualquier otra sustancia) es la relación entre su masa y su volumen. La densidad del agua destilada es igual a la unidad. Corrientemente, para determinar la densidad de un mineral se pesa dos veces, una en el aire y otra inmerso en el agua, sujetándolo a una balanza mediante un hilo. Se halla después la diferencia entre el peso del mineral en el aire y el peso del mineral en el agua (equivalente en va-



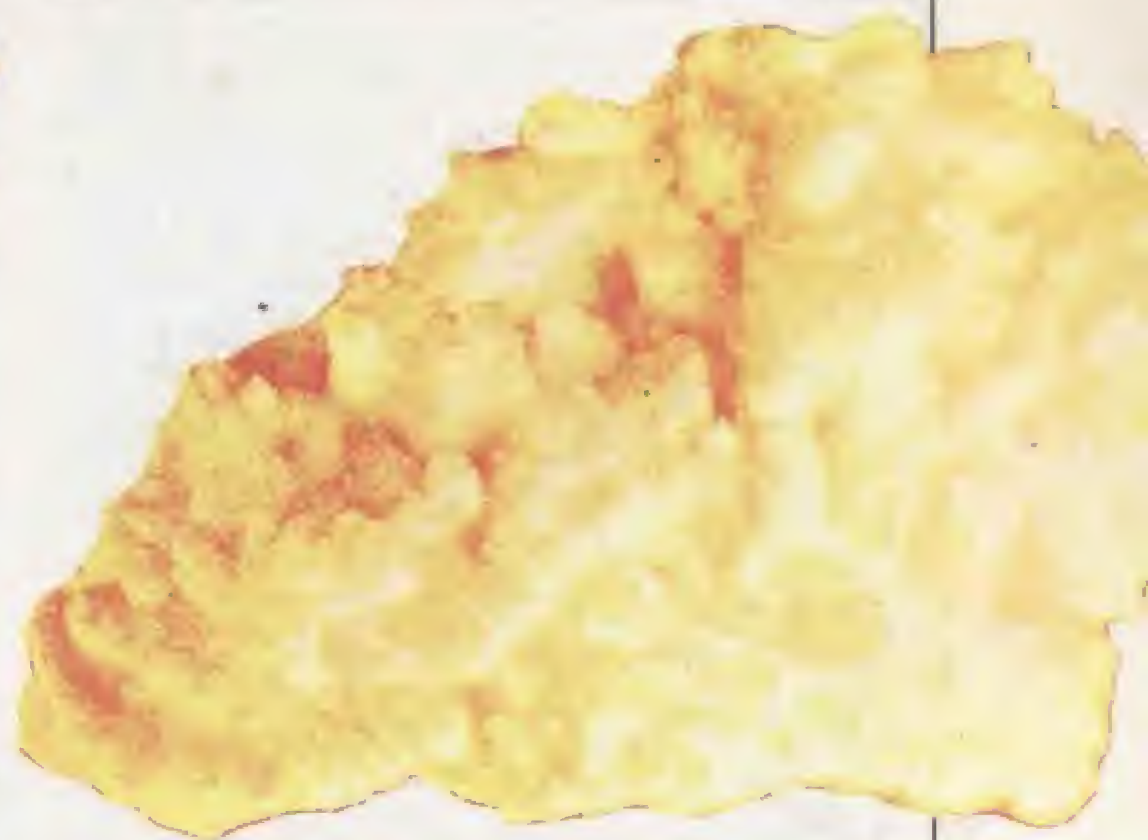
Algunos cristales no están constituidos por un solo individuo, sino por dos o más, que se repiten según leyes precisas. Son las maclas, típicas sobre todo de algunas especies minerales. Abajo, esquemas de cristales mezclados, con indicación de los minerales a los que corresponden. En el ángulo inferior derecho, yeso maclado en punta de lanza (dos cristales unidos con un plano común). Una característica de algunos minerales



es la fluorescencia: ciertos minerales, al ser irradiados con distintas fuentes de energía, emiten una

luz de color diferente a la del mineral iluminado con luz natural. Arriba, una muestra de *celestina*,

observada con luz natural; aquí a la derecha, la misma muestra irradiada con rayos ultravioleta.

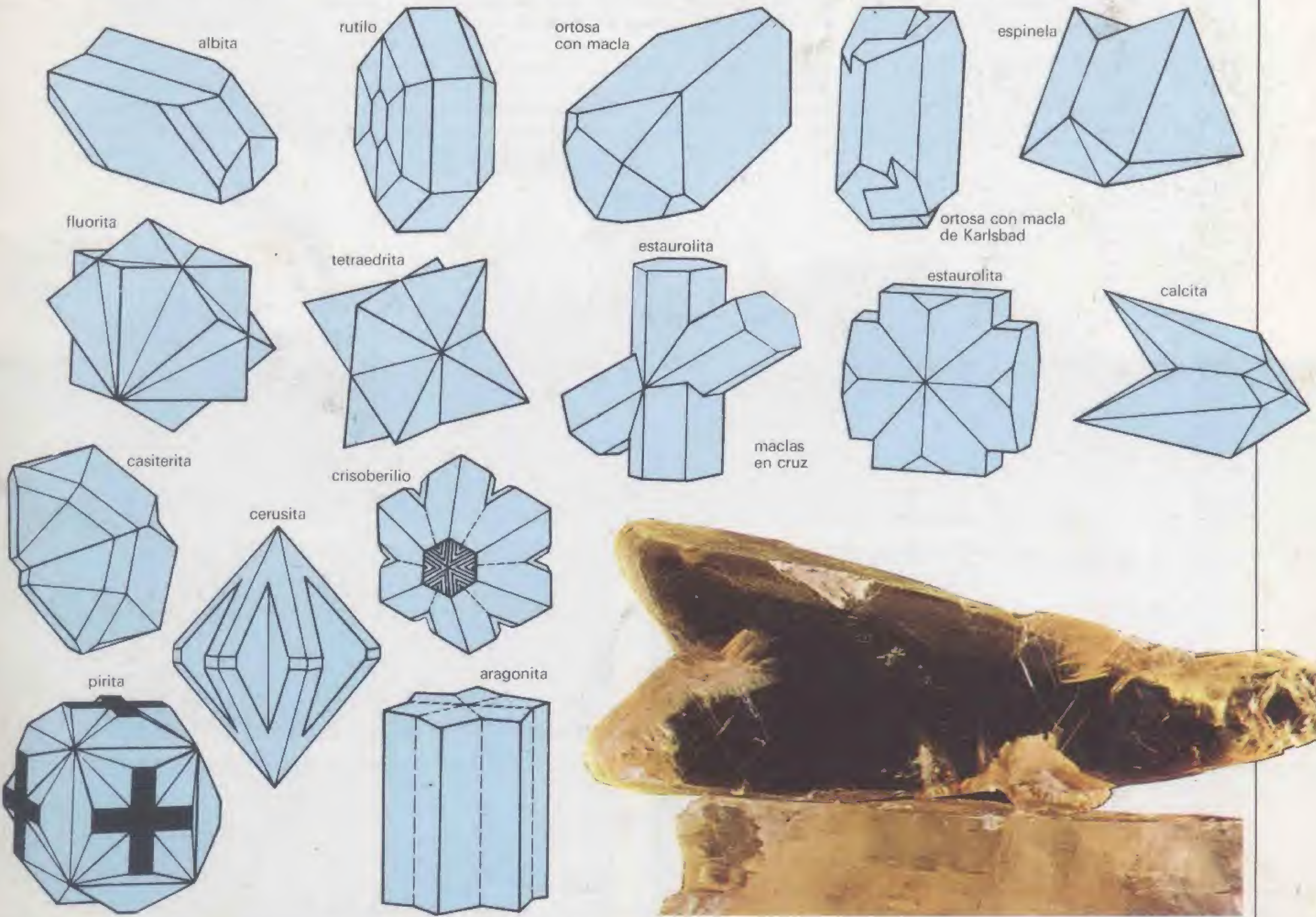


El mineral más difundido en las rocas es el *feldespato*, un silicato de aluminio que se encuentra con mayor abundancia en el granito. Generalmente tiene un color claro, blanco o rosado, y una dureza 6. Casi la mitad de todas las rocas de la corteza terrestre muestra feldespato entre sus minerales constituyentes. El segundo mineral más común es el *cuarzo*, que tiene dureza 7 y es incoloro o blanco, aunque excepcionalmente puede ser amarillo, negro o rosa. Se encuentran característica-

mente en el granito y, dada su dureza, forma parte de muchos sedimentos detríticos, tales como las arenas de playa. La *calcita* (carbonato de calcio), otro mineral muy común, se encuentra como componente mayoritario de la caliza y tiene dureza 3. Los cristales puros de calcita incolora, llamada *espató de Islandia*, desdoblan los rayos de luz que los atraviesan, de modo que las imágenes de un objeto visto a través de un romboedro de este mineral se ven dobles.

El *caolín*, un silicato hidratado de aluminio, es el constituyente principal de las arcillas. Se encuentra en partículas de diámetro inferior a 0,00025 centímetros, por lo que para su observación es necesario un microscopio electrónico. Muchas tierras son amarillas o marrones a causa de la presencia de *limonita*, que es un óxido de hierro hidratado.

Véase **Cristales y Cristalografía; Diamante; Gemología; Minería y técnicas mineras**



Minería y técnicas mineras

Existen muy pocas actividades humanas tan envueltas en leyendas misteriosas y en creencias, tan peligrosas y al mismo tiempo tan vitales para la Humanidad como el trabajo en las minas. La extracción de minerales del subsuelo de la corteza terrestre tuvo sus orígenes en los tiempos prehistóricos, destinada a satisfacer las crecientes necesidades humanas.

Ya los hombres de la Edad de Piedra explotaban el sílex, una roca dura cuyos cortantes fragmentos se utilizaban para la fabricación de armas y otros utensilios. El oro fue el primer metal en ser extraído mediante técnicas propiamente mineras, y el cobre el segundo. La extracción del hierro se remonta al año 2.800 a. de C. Asimismo, las piedras preciosas, como los diamantes y los jades, y en el extremo opuesto el petróleo y el carbón, se extraen igualmente de las profundidades de la Tierra.

Exploración Atrás han quedado los días en que Simón Patiño, un humilde indio boliviano, descubrió por casualidad un filón de estaño que le convertiría en poco tiempo en el "rey mundial del estaño". En efecto, los hombres llevan excavando siglos en la corteza terrestre y muchos yacimientos minerales que en su día afloraban en superficie están actualmente ya agotados.

En la moderna exploración minera, los equipos de especialistas efectúan una minuciosa investigación previa del área de interés. En primer lugar, se recoge toda la

información geológica de la región, que se representa mediante una compleja simbología sobre mapas topográficos. Seguidamente se pasa a la prospección geoquímica, consistente en el análisis químico sistemático de depósitos edáficos y aluviones en la red de drenaje, con el fin de localizar las fuentes ocultas de los elementos de interés dispersos en los mismos.

Se utilizan asimismo varias técnicas de exploración geofísica. En particular, son de mucha utilidad el método sísmico (en el que se provocan ondas de baja frecuencia que atraviesan la corteza terrestre para determinar la estructura del subsuelo) y los métodos magnéticos (que permiten detectar la presencia de sustancias magnéticas, como, por ejemplo, los minerales de hierro). Los métodos eléctricos facilitan la localización de minerales conductores, mientras que los métodos gravimétricos lo hacen de minerales y rocas de densidades anómalas. Asimismo se emplean a veces en la prospección previa los contadores Geiger, con el fin de detectar la presencia de sustancias radiactivas. En una segunda fase de la investigación, los sondeos mecánicos constituyen un valioso instrumento de comprobación directa. Las rocas son perforadas mediante el empleo de cabezas rotatorias con diamantes engastados en ellas, que periódicamente extraen muestras de roca en forma cilíndrica, llamadas *testigos*. Una técnica muy reciente utilizada en la exploración es la de la detección a distancia o teledetección. Esta técnica se basa en el análisis de

las imágenes enviadas desde los satélites, y permite detectar estructuras y otras características de la superficie y del subsuelo difíciles de identificar sobre el terreno. Los resultados obtenidos con las técnicas precedentes se analizan cuidadosamente para establecer si la extracción en un área determinada es económicamente rentable —es decir, si el valor del mineral supera a la inversión necesaria para extraerlo— y, en caso positivo, se establece cuál es el método más adecuado para ello. Pese al empleo de estas avanzadas técnicas, la extracción del mineral es siempre una iniciativa económicamente arriesgada. Tan sólo una de cada cien investigaciones termina, al final, en éxito.

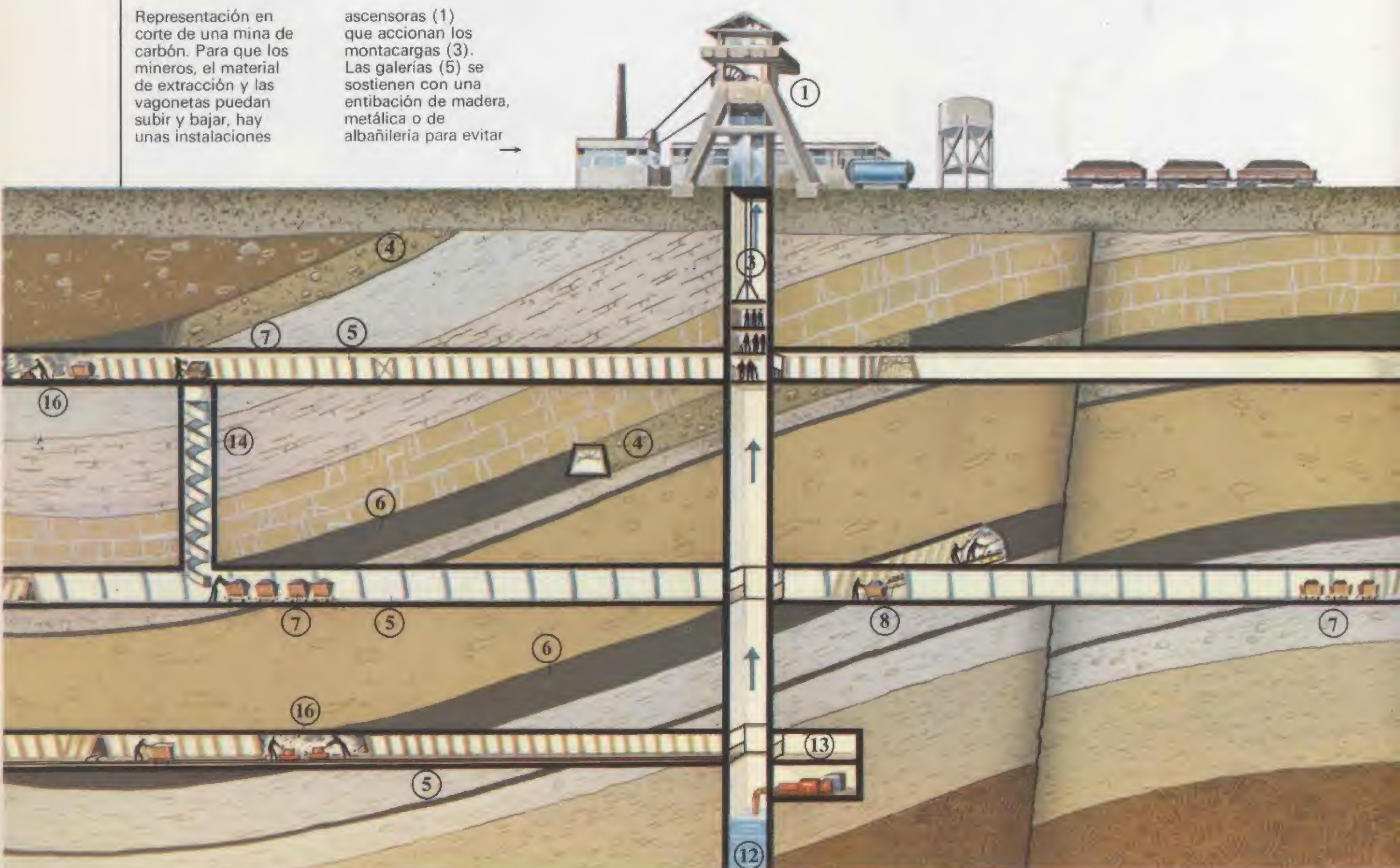
Métodos de extracción Los métodos de extracción se eligen según diversos factores, que incluyen las características del mineral a extraer, la estabilidad de las rocas que lo albergan y la presencia o ausencia de aguas freáticas.

La explotación de los yacimientos se efectúa en superficie si los depósitos minerales se encuentran a poca profundidad. Dada la economía del método, se puede aplicar además a yacimientos de baja ley, esto es, con bajos contenidos del elemento de interés.

La extracción en cantera es un ejemplo de explotación en superficie. Las rocas se extraen cortándolas en bloques de forma regular, generalmente con el propósito de su inmediato empleo en construcción, o bien utilizando explosivos para fragmen-

Representación en corte de una mina de carbón. Para que los mineros, el material de extracción y las vagonetas puedan subir y bajar, hay unas instalaciones

ascensoras (1) que accionan los montacargas (3). Las galerías (5) se sostienen con una entibación de madera, metálica o de albañilería para evitar



El trabajo en una galería implica notables problemas que no sólo se refieren a la extracción del mineral, sino también, por ejemplo, a la ventilación. En el

esquema se ha representado el cruce entre dos galerías de ventilación cuyo aire no debe mezclarse, haciéndose necesario, por lo tanto, efectuar un paso superior. En

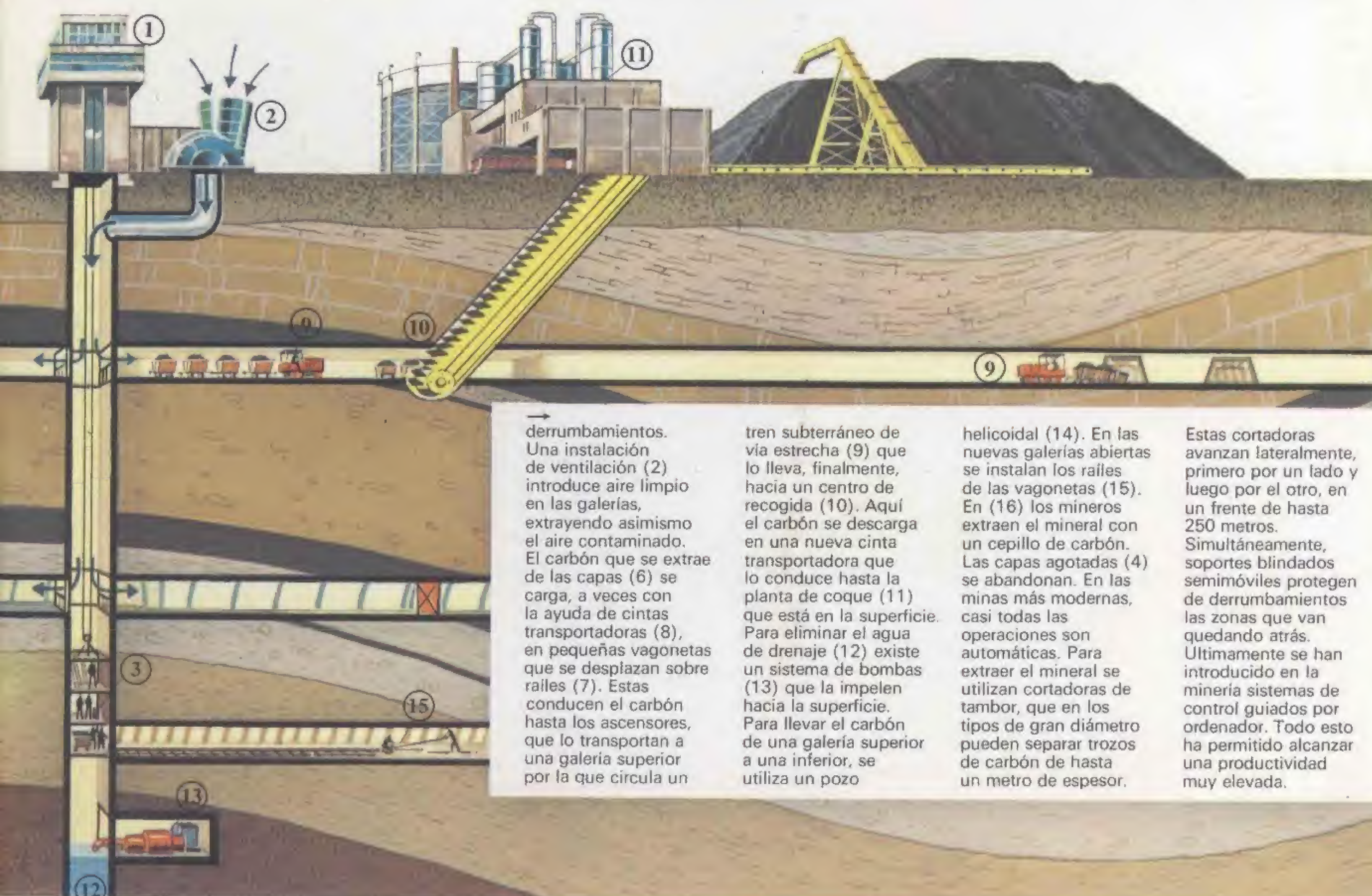
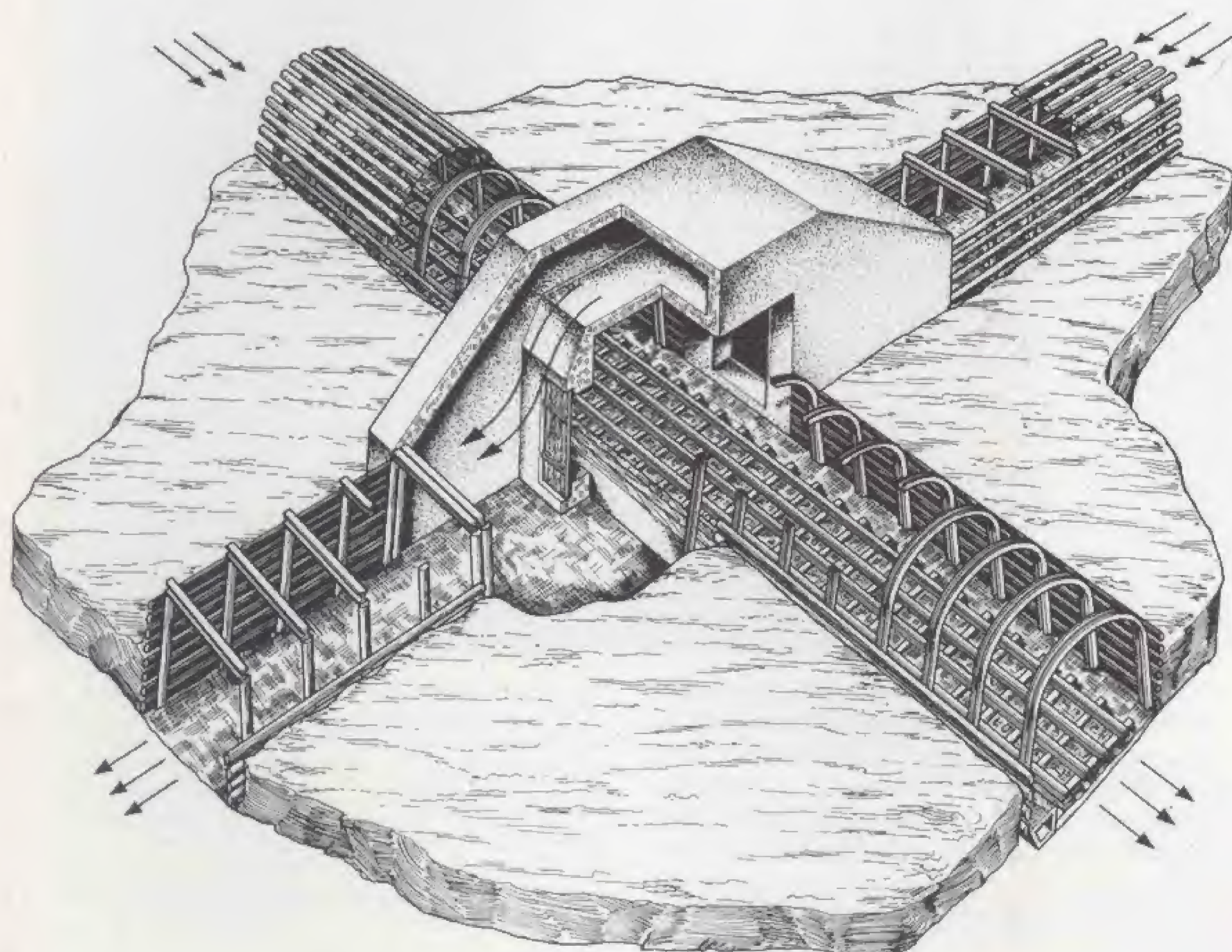
el punto de cruce ésta obra debe ser muy robusta, por lo que se aplica una colada de hormigón de fuerte espesor. La separación de las dos galerías es necesaria cuando la

pureza del aire es distinta en ambas, e impide la propagación de la onda expansiva generada por las explosiones provocadas para arrancar el mineral.

tarlas, a menudo con vistas a la obtención de áridos.

La explotación a cielo abierto (otro método de extracción en superficie) se emplea con frecuencia para extraer hierro, cobre, molibdeno, aluminio (bauxita) y uranio. Las minas a cielo abierto se asemejan a grandes cráteres con las laderas aterrazadas o escalonadas. A lo largo de los bordes de estas terrazas se efectúan filas de barrenos (agujeros perforados en la roca, en los que se alojan los explosivos), cuya deflagración precipita el mineral al escalón inmediatamente inferior. El mineral así obtenido se carga y se transporta fuera de la mina para su elaboración y expedición. En algunos casos, en las minas a cielo abierto se emplea la llamada *explotación en embudo*, consistente en que el mineral se envía, a través de una abertura realizada en las rocas más friables, hacia túneles excavados debajo de la mina, desde donde se transporta fácilmente a la superficie. Si bien la explotación a cielo abierto ofrece las ventajas de grandes capacidades productivas a bajos costes de producción, condiciones de trabajo relativamente seguras y la posibilidad de explotación completa del yacimiento, presenta también algunas desventajas, entre ellas el problema de las enormes escombreras de materiales de desecho, el polvo generado durante la explotación y el ruido y las vibraciones producidas por las explosiones al aire libre.

La explotación a cielo abierto mediante cortas se efectúa en el caso de depósi-



derrumbamientos. Una instalación de ventilación (2) introduce aire limpio en las galerías, extrayendo asimismo el aire contaminado. El carbón que se extrae de las capas (6) se carga, a veces con la ayuda de cintas transportadoras (8), en pequeñas vagonetas que se desplazan sobre raíles (7). Estas conducen el carbón hasta los ascensores, que lo transportan a una galería superior por la que circula un

tren subterráneo de vía estrecha (9) que lo lleva, finalmente, hacia un centro de recogida (10). Aquí el carbón se descarga en una nueva cinta transportadora que lo conduce hasta la planta de coque (11) que está en la superficie. Para eliminar el agua de drenaje (12) existe un sistema de bombas (13) que la impulsan hacia la superficie. Para llevar el carbón de una galería superior a una inferior, se utiliza un pozo

helicoidal (14). En las nuevas galerías abiertas se instalan los raíles de las vagonetas (15). En (16) los mineros extraen el mineral con un cepillo de carbón. Las capas agotadas (4) se abandonan. En las minas más modernas, casi todas las operaciones son automáticas. Para extraer el mineral se utilizan cortadoras de tambor, que en los tipos de gran diámetro pueden separar trozos de carbón de hasta un metro de espesor.

Estas cortadoras avanzan lateralmente, primero por un lado y luego por el otro, en un frente de hasta 250 metros. Simultáneamente, soportes blindados semimóviles protegen de derrumbamientos las zonas que van quedando atrás. Últimamente se han introducido en la minería sistemas de control guiados por ordenador. Todo esto ha permitido alcanzar una productividad muy elevada.



tos de minerales en forma de capas finas y cercanas a la superficie. Tal es el caso de muchas minas de carbón, dada la disposición del mismo en forma de estratos alternantes con otras rocas. Suelen ser explotaciones poco profundas con una gran extensión en horizontal. La corta o frente de ataque avanza rápidamente mediante desplomes provocados con explosivos.

En el caso de los yacimientos de carbón explotados a cielo abierto, otro inconveniente —que puede llegar a ser muy importante— es el de la posible contaminación de las aguas superficiales con el azufre contenido en el mismo.

La explotación subterránea o mediante galerías se efectúa cuando la profundidad

a la que se localiza el yacimiento es demasiado grande, por lo que la explotación en superficie se hace antieconómica. Constituye el tipo de minería más tradicional, prueba de lo cual es que el primer tratado completo de este tipo de labores fue escrito en 1556 por el estudioso alemán Georgius Agricola, con el título *De re metallica*.

En este tipo de explotación, los mineros y el material entran, por lo general, mediante profundos pozos verticales, de los que parten y a diferentes niveles las galerías laterales. Estas conducen a las cámaras donde se va extrayendo el mineral. La extracción se realiza según las características geológicas del yacimiento: ma-

También el carbón, el cobre y los minerales de hierro se pueden extraer en minas a cielo abierto. Para ello hay que eliminar previamente la capa superficial de tierra por medio de máquinas gigantescas, como la

excavadora de rueda que se ve arriba. Abajo, una mina de cobre a cielo abierto. En la página siguiente están esquematizados algunos de los métodos de extracción empleados para evitar derrumbamientos.

nualmente —mediante picadores— o con ayuda de explosivos alojados en barrenos. El material se transporta seguidamente fuera de la mina mediante técnicas adecuadas. Con este tipo de mina se pueden explotar yacimientos situados a varios miles de metros de profundidad y, además,



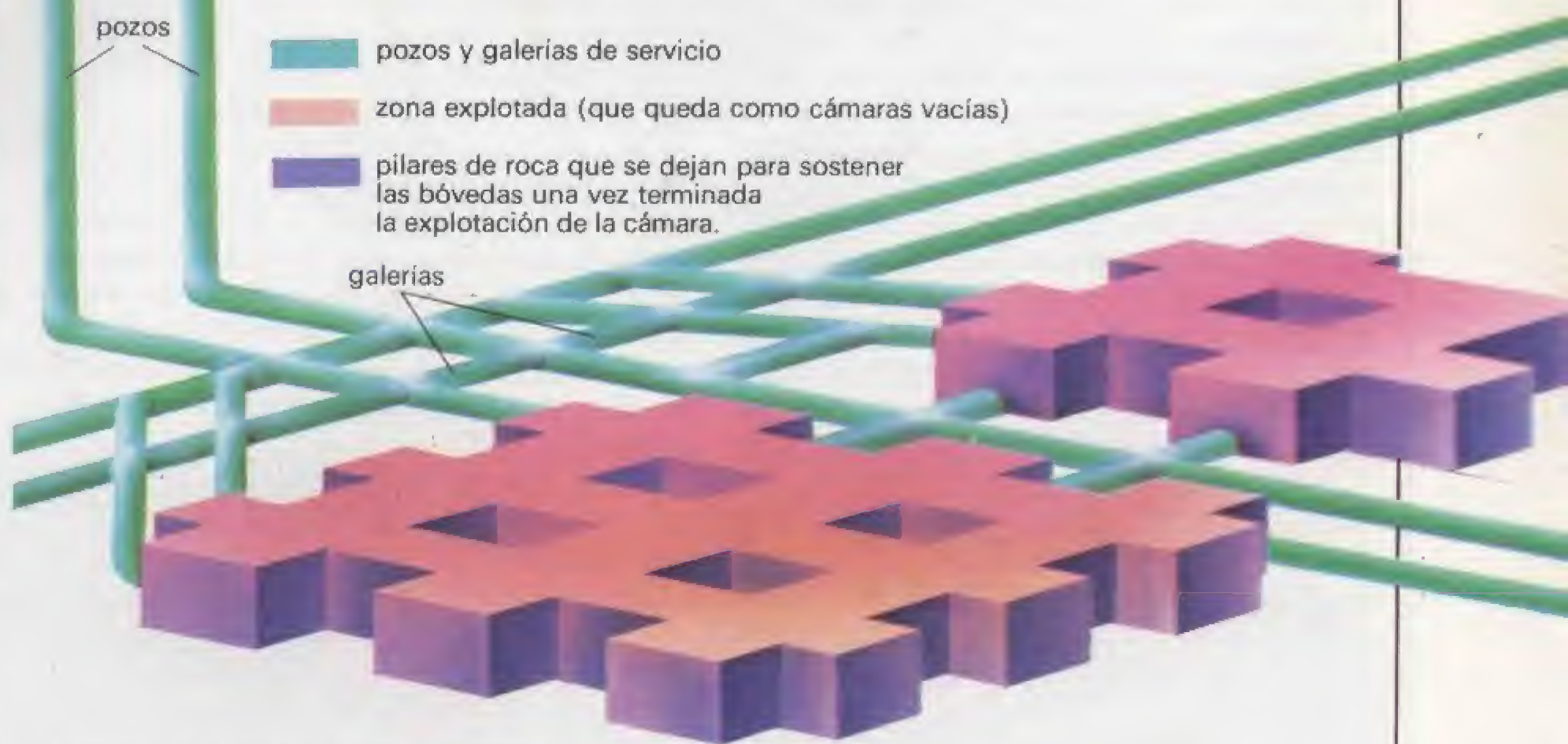
se daña menos el entorno; no obstante, este tipo de explotación presenta varios problemas: la necesidad de luz artificial y de una ventilación adecuada, el peligro constante de caída de rocas en los túneles, así como el todavía más frecuente peligro de hundimiento a consecuencia de las explosiones subterráneas. Por otra parte, el material de desecho ("estéril") crea, con su volumen, importantes problemas de circulación y depósito en el interior de la mina.

Minerales preciosos, como el oro nativo, que se encuentran en forma de pepitas en los sedimentos de aluvión se extraen a menudo mediante el empleo de dragas o con métodos hidráulicos. Las dragas son pontones flotantes que operan en pequeños lagos o en los depósitos aluviales situados lejos de las costas. Las dragas suben el sedimento a la superficie mediante un sistema de cucharas, y seguidamente es transportado a la instalación de concentración si contiene mineral precioso. En la extracción con métodos hidráulicos, se dirigen chorros de agua a alta presión contra el sedimento suelto, provocando la separación del mineral al ser éste más pesado que el material "estéril" que lo acompaña.

Seguridad en las minas Allá en el siglo XVII, de cada diez hombres que iban a trabajar en la famosa mina de Potosí, en el altiplano boliviano, siete no regresaban a sus casas. En tres siglos han muerto en esas minas aproximadamente ocho millones de hombres.

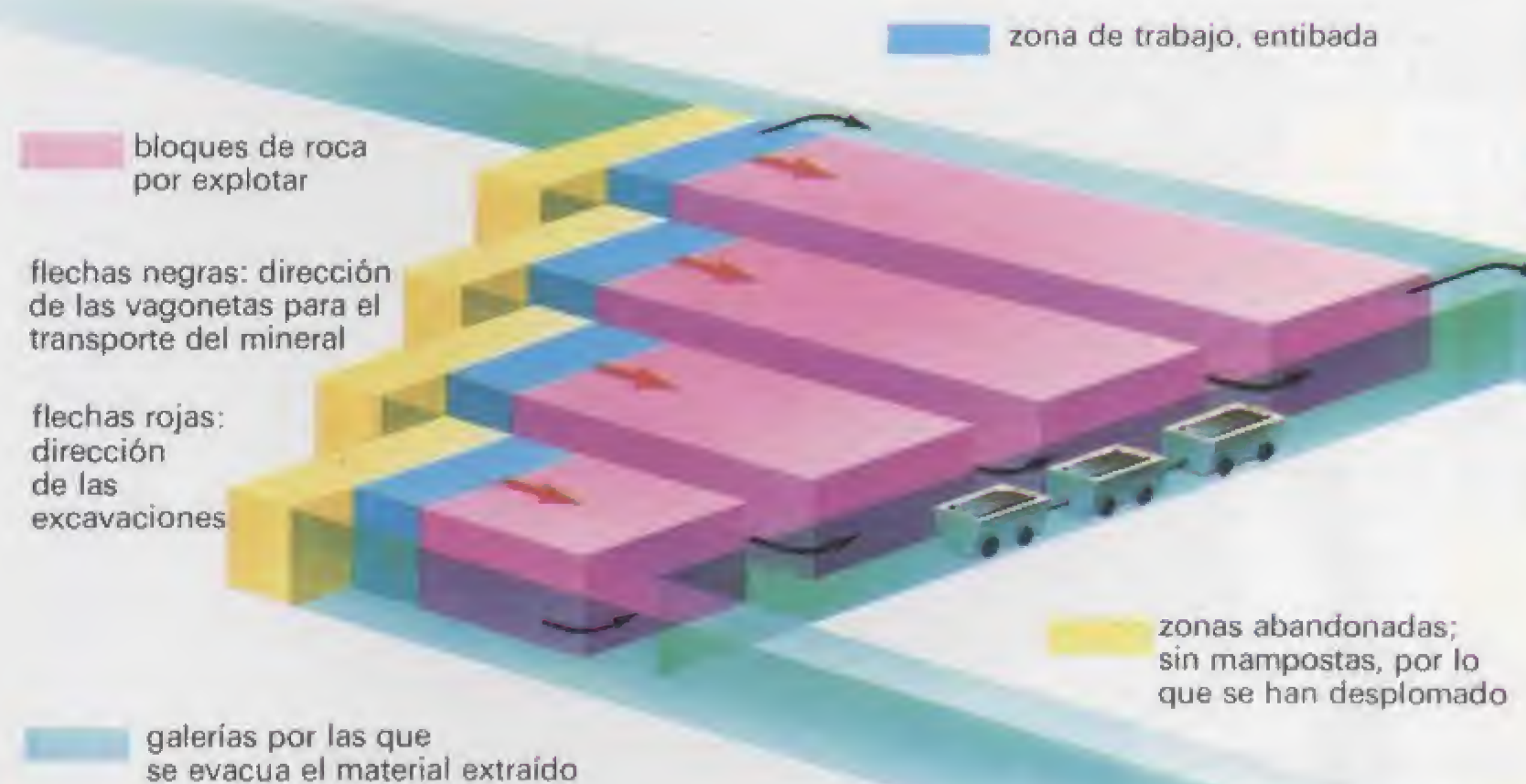
Aunque las condiciones de seguridad y de sanidad hayan mejorado hoy día radicalmente respecto a las que existían en Potosí hace 300 años, todavía a mediados de los años setenta se verificaban cada año en EE UU, en el sector minero, casi 150 accidentes fatales y 11.000 accidentes que suponían la invalidez para el trabajador. Los desprendimientos de rocas, los incendios, los accidentes ocasionados por máquinas y medios de transporte y la falta de oxígeno son las causas más frecuentes de infortunios. La acumulación de polvo en las minas puede provocar explosiones subterráneas, con trágicas consecuencias. Las medidas preventivas para evitarlo incluyen el empleo de potentes extractores y una ventilación adecuada de las galerías que permitan la eliminación del polvo antes de que forme concentraciones explosivas. Asimismo, son frecuentes las enfermedades pulmonares —a menudo fatales— que resultan de respirar, durante mucho tiempo, polvo que contenga cuarzo o polvo de carbón. El grado de seguridad que se puede garantizar en el laboreo de las minas depende de las legislaciones que a este respecto hayan sido adoptadas en cada país, y, naturalmente, de la frecuencia con que se efectúen inspecciones regulares en las mismas.

METODO DE EXPLOTACION POR CAMARAS Y PILARES

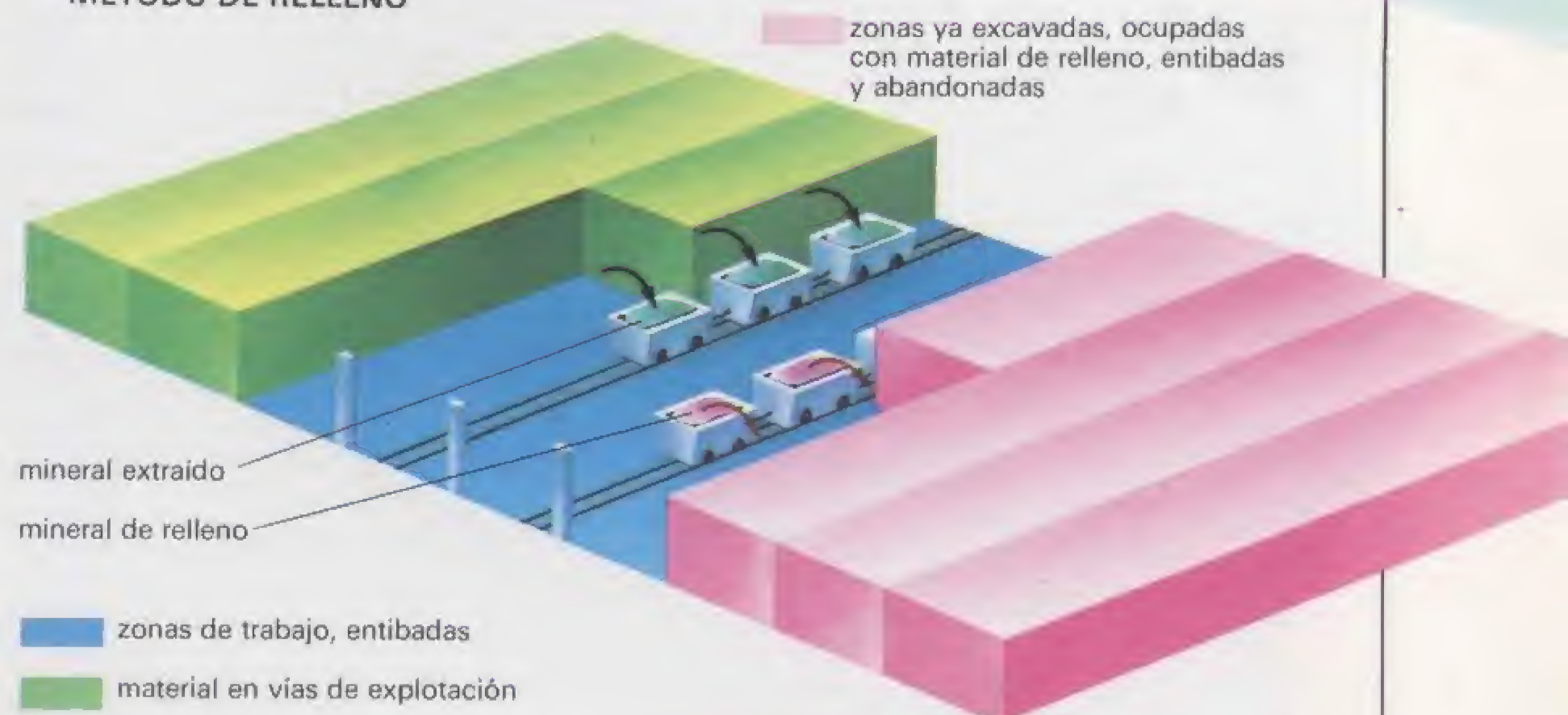


(el espacio que aparece "lleno" representa el material extraído; el espacio "vacío" representa el material que se deja como pilares)

METODO DE DESPLOME



METODO DE RELLENO



Miniaturización

En su acepción más general, el término *miniaturización* se refiere al proceso de producción de objetos de pequeño tamaño o en miniatura, pero capaces de desarrollar funciones que vienen siendo realizadas por sistemas similares de tamaño mucho mayor. En su uso moderno, la palabra *miniaturización* hace referencia principalmente a la tecnología de producción de componentes electrónicos cada vez más pequeños. La utilización de estos componentes minúsculos ha llevado a la miniaturización de sistemas enteros, como ordenadores, televisores y aparatos de grabación magnética.

Circuitos integrados El aspecto más importante de la miniaturización en los últimos años en Electrónica ha sido la fabricación de *circuitos integrados*, utilizados en todo tipo de aplicaciones electrónicas imaginables.

Esos circuitos, como indica su nombre, tienen gran número de componentes electrónicos (separados o conectados), integrados o empaquetados juntos. Normalmente, este empaquetamiento se realiza en una fina lámina llamada *oblea*. La tecnología actual permite producir circuitos

integrados que llegan a tener hasta 256.000 componentes sobre una plaquita de silicio más pequeña que una uña. Las dimensiones de cada uno de estos circuitos elementales (interruptor) pueden ser de 0,5 micras (0,0005 milímetros).

Los circuitos elementales son interruptores, o puertas, y cada uno se puede abrir o cerrar para permitir o interrumpir el paso de una corriente eléctrica. Estos circuitos se introducen en la placa de silicio utilizando materiales fotosensibles, bien a la luz visible, a un láser de determinadas frecuencias, a rayos X o a un haz de electrones.

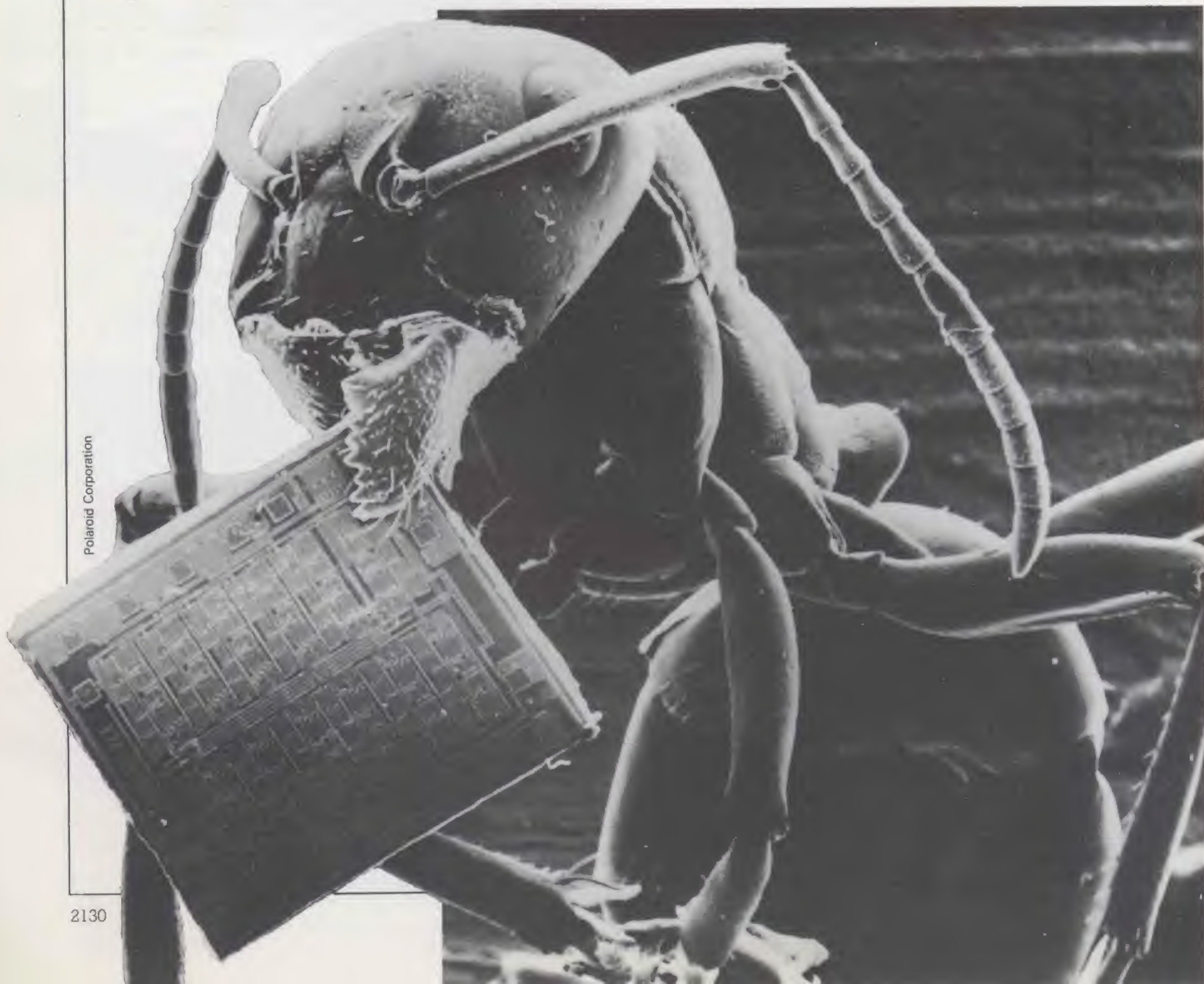
Un grado de miniaturización mayor se ha conseguido con el desarrollo de técnicas para concentrar y enfocar estas radiaciones en puntos cada vez más pequeños, y con el perfeccionamiento de la composición química de los materiales fotosensibles. En la producción de circuitos integrados se utilizan muchas tecnologías diferentes, y los avances logrados en cada una de ellas son muy importantes a la hora de favorecer el proceso de miniaturización. Se fabrican de forma integrada todos los circuitos de memorias y circuitos lógicos de ordenadores, así como circuitos

muy utilizados en productos de consumo, como televisores, radios, frigoríficos, centrales telefónicas y de control de tráfico, etcétera. Muchos de estos sistemas tienen circuitos que funcionan como ordenadores minúsculos: controlan el brillo, el volumen, así como otros parámetros fundamentales de la señal detectada.

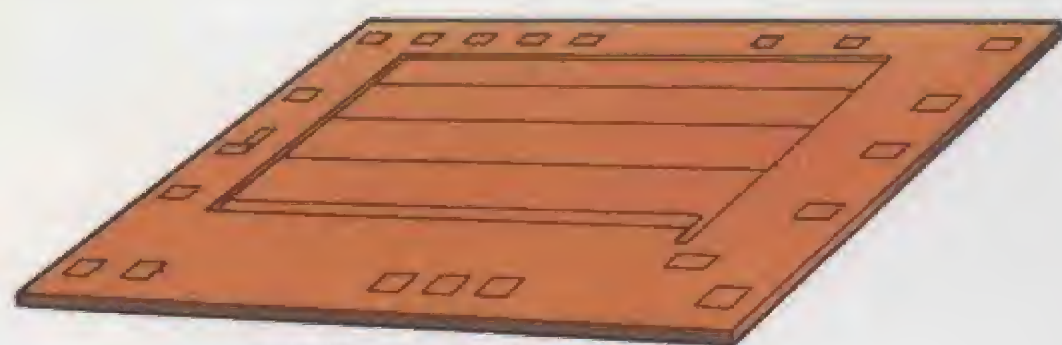
Los circuitos integrados desarrollan las funciones que hace tiempo desempeñaban los tubos de vacío (válvulas) y los transistores.

Sistemas miniaturizados Los circuitos integrados y el conjunto de cables que los une al resto del sistema donde se utilizan consumen menos electricidad, generan menos calor y ocupan un espacio menor que las válvulas y transistores. Se necesita, por tanto, menor potencia y los ventiladores y otros componentes que se utilizan para disipar el calor pueden ser mucho menores. Todo ello hace que las dimensiones físicas del sistema completo sean más reducidas.

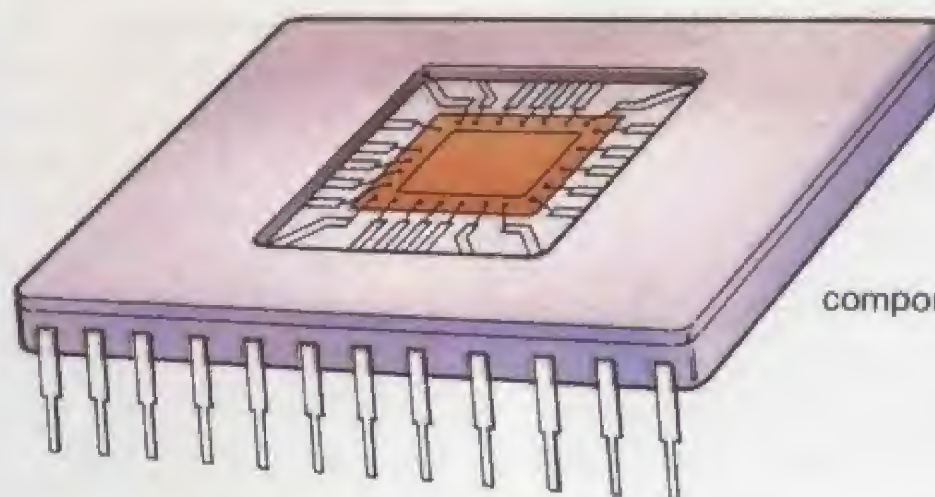
Un ordenador del tamaño de un periódico, con un grosor de 10 cm, tiene una potencia de proceso superior a la de los ordenadores que antiguamente ocupaban



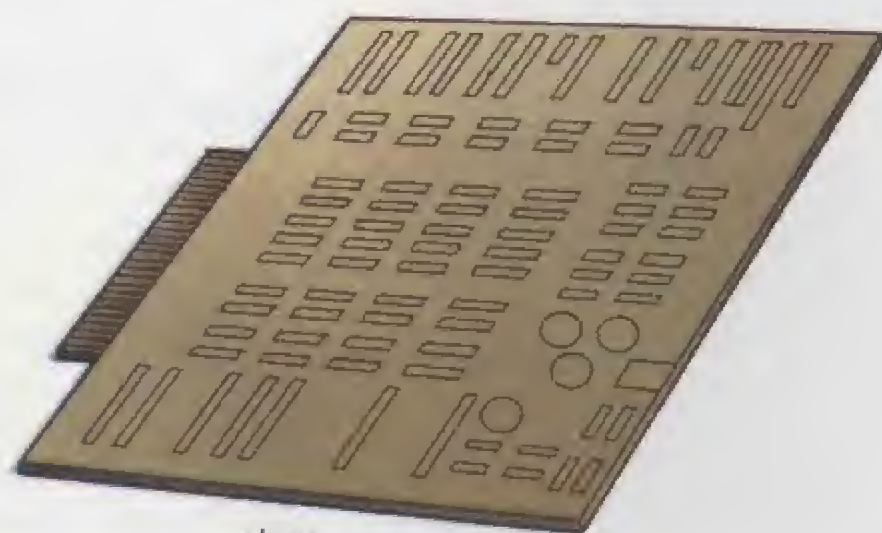
Polaroid Corporation



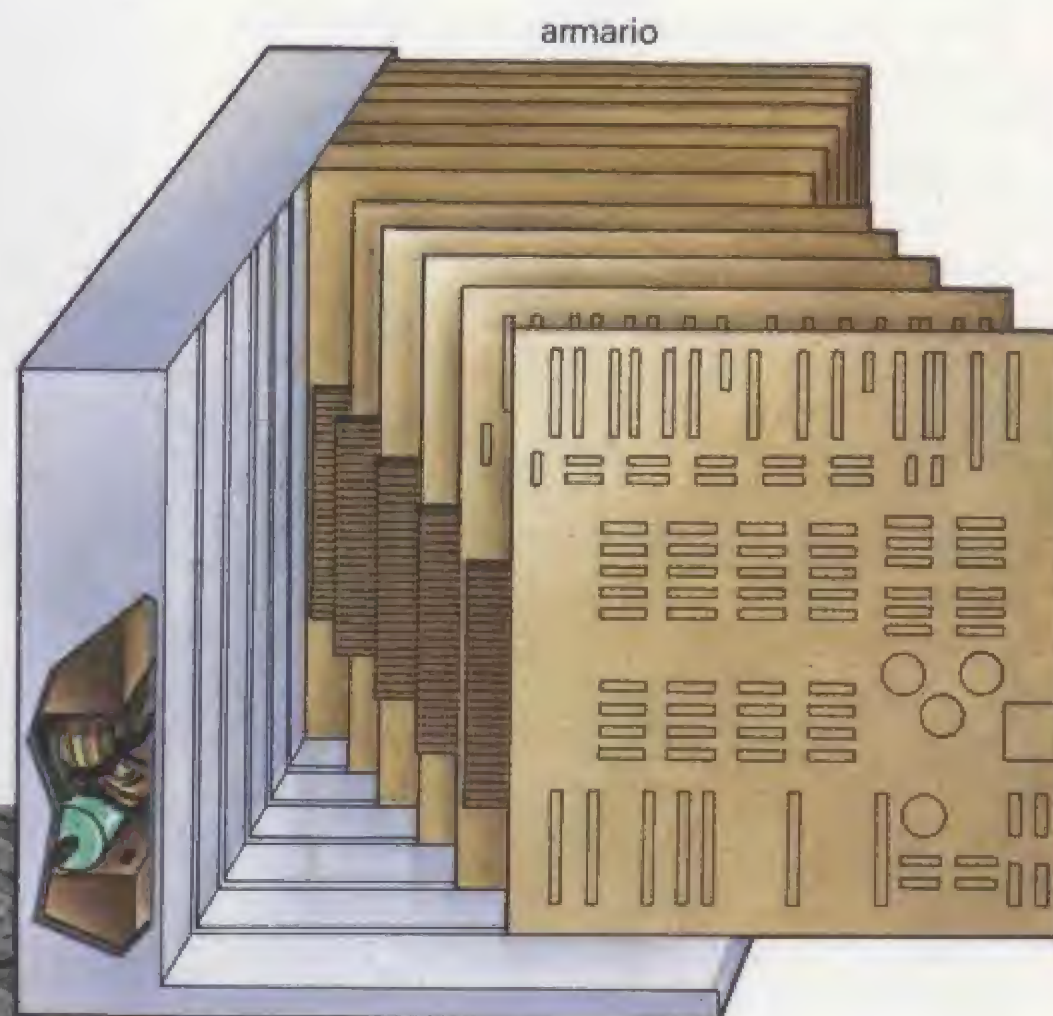
circuito integrado



componente

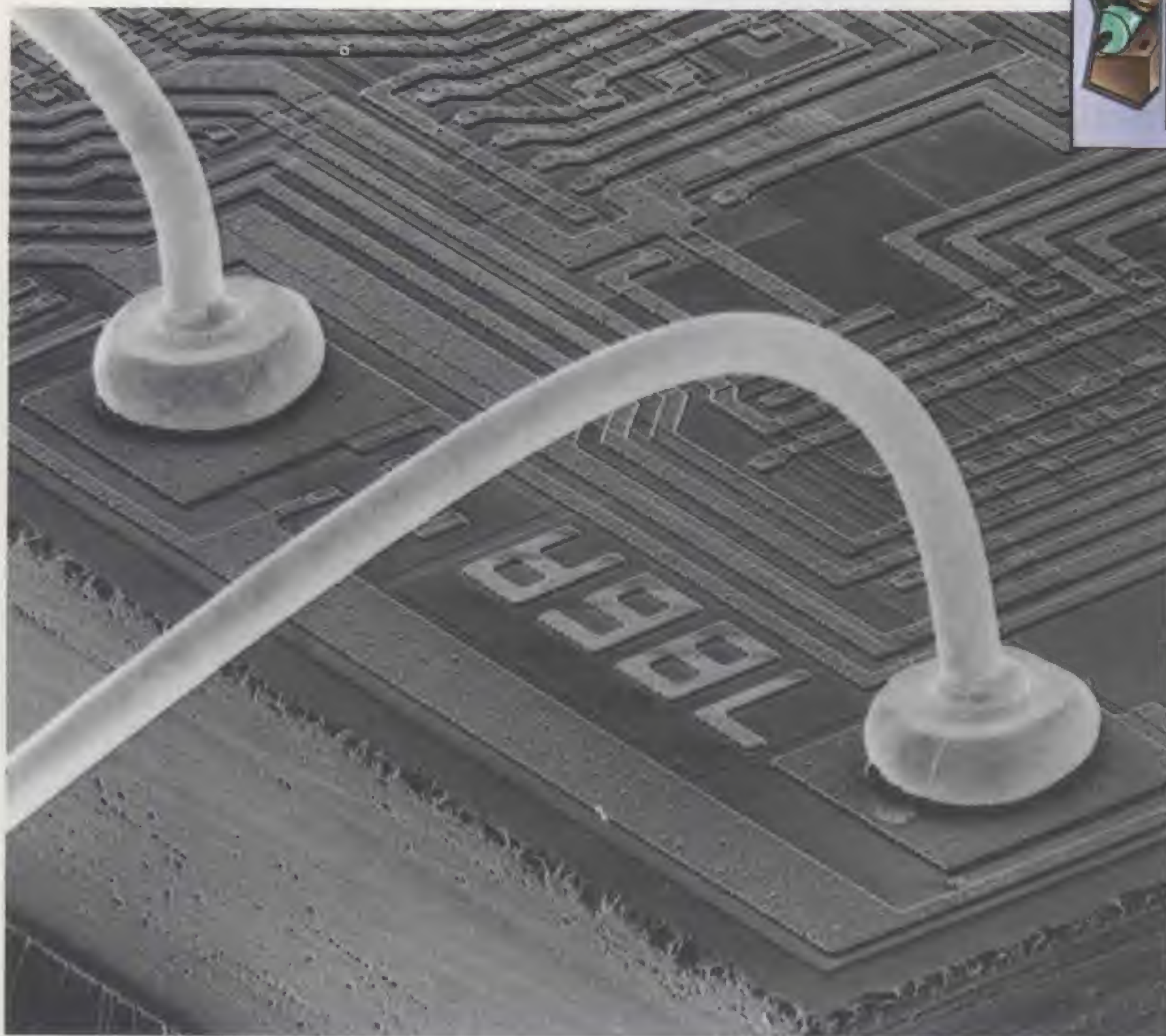


placa



armario

Los circuitos integrados están encapsulados en un protector que, a su vez, está soldado en una placa de circuito impreso que conecta varios circuitos integrados. Las distintas placas se conectan entre sí al colocarlas en su caja. La velocidad operativa de los sistemas electrónicos depende de los tiempos de propagación de las señales eléctricas por el interior de la máquina. Este es uno de los motivos que influye en el intento de obtener componentes cada vez más pequeños.



Las verdaderas dimensiones de un circuito integrado pueden apreciarse en la fotografía de la izquierda (en la página anterior), tomada utilizando un microscopio electrónico. Este

circuito es tan pequeño que puede agarrarlo una hormiga. Sobre estas líneas se ve con detalle una esquina del circuito y los hilos, de oro o de aluminio, que permiten la entrada y salida de corrientes eléctricas.

Con estas imágenes se pueden apreciar los niveles alcanzados en la miniaturización de los componentes electrónicos. Un circuito integrado como éste (que tiene del orden de 30.000 transistores y donde

los impulsos eléctricos se mueven a la velocidad de la luz) puede procesar la misma cantidad de información que procesaba un ordenador del tamaño de una habitación hace sólo treinta años.

locales enteros. Un beneficio significativo que se obtiene es que, cuanto más reducidas son las dimensiones, menos tardan en llegar a su destino las señales que se transmiten entre los componentes del sistema, aumentando así el volumen de datos que puede procesar.

Miniaturización y costes Aunque las inversiones en investigación y tecnología necesarias para conseguir avances que hagan posible una mayor miniaturización son en realidad muy elevadas, la producción de sistemas más pequeños lleva a una disminución de los costes y a un aumento de las prestaciones de los sistemas que utilizan este tipo de componentes. Cuanto menores son las cantidades de materia prima necesarias para su construcción, tanto menor es la cantidad de energía consumida en los procesos de fabricación (y, además, se ha demostrado que son menos frecuentes los fallos de las piezas, y, por tanto, menor el número de reparaciones). Así pues, la miniaturización ha llevado a una disminución rápida de los costes de los ordenadores, de los productos electrónicos de consumo y, en consecuencia, de sus precios, lo que puede hacer que disminuyan también los precios de otros bienes.

Véase **Electrónica; Microordenador; Miniordenador**

Miniordenador

Los ordenadores, como los demás productos de la tecnología moderna, han experimentado un gran desarrollo y una rápida evolución en sus modelos. Los primeros ordenadores fueron máquinas grandes, pensadas para oficinas, organismos oficiales o universidades lo suficientemente complejos como para poder pagar sus elevados costes y proporcionar el espacio y condiciones que esos dispositivos requerían. Además, sólo tenía acceso a ellos y podía manejarlos el personal especializado.

Cuando en los años sesenta la tecnología relacionada con el procesamiento de datos se desarrolló y los grandes ordenadores, contruidos sobre todo por la empresa IBM, empezaron a dominar el mercado mundial, algunos fabricantes se dieron cuenta de que existían muchos clientes que no podían permitirse la compra de un gran ordenador, pero que sí necesitaban una determinada potencia de cálculo para sus trabajos. Esas empresas desarrollaron entonces los miniordenadores y sistemas de cálculo especializados en investigación, de mucho menor coste que los grandes ordenadores y capaces de cubrir todas las necesidades de este sector del mercado.

Grandes ordenadores, miniordenadores y microordenadores Todos los tipos de ordenadores pueden hacer, en principio, las mismas cosas: almacenar y procesar datos, controlar otros dispositivos e imprimir o representar esos datos. Se distinguen unos de otros por la cantidad de información que son capaces de almacenar, por su rapidez al procesar los datos y al comunicar con las otras máquinas, así como por el número de personas que pueden utilizar el ordenador simultáneamente.

Los ordenadores se pueden dividir en tres categorías: grandes ordenadores, miniordenadores y microordenadores.

En general, los *grandes ordenadores* son los más potentes y rápidos y pueden ser utilizados por un gran número de personas simultáneamente.

Los *microordenadores* proporcionan unas prestaciones más bajas que los grandes ordenadores, son más lentos y más pequeños y se denominan así porque están contruidos en torno al microprocesador que representa su unidad central de proceso.

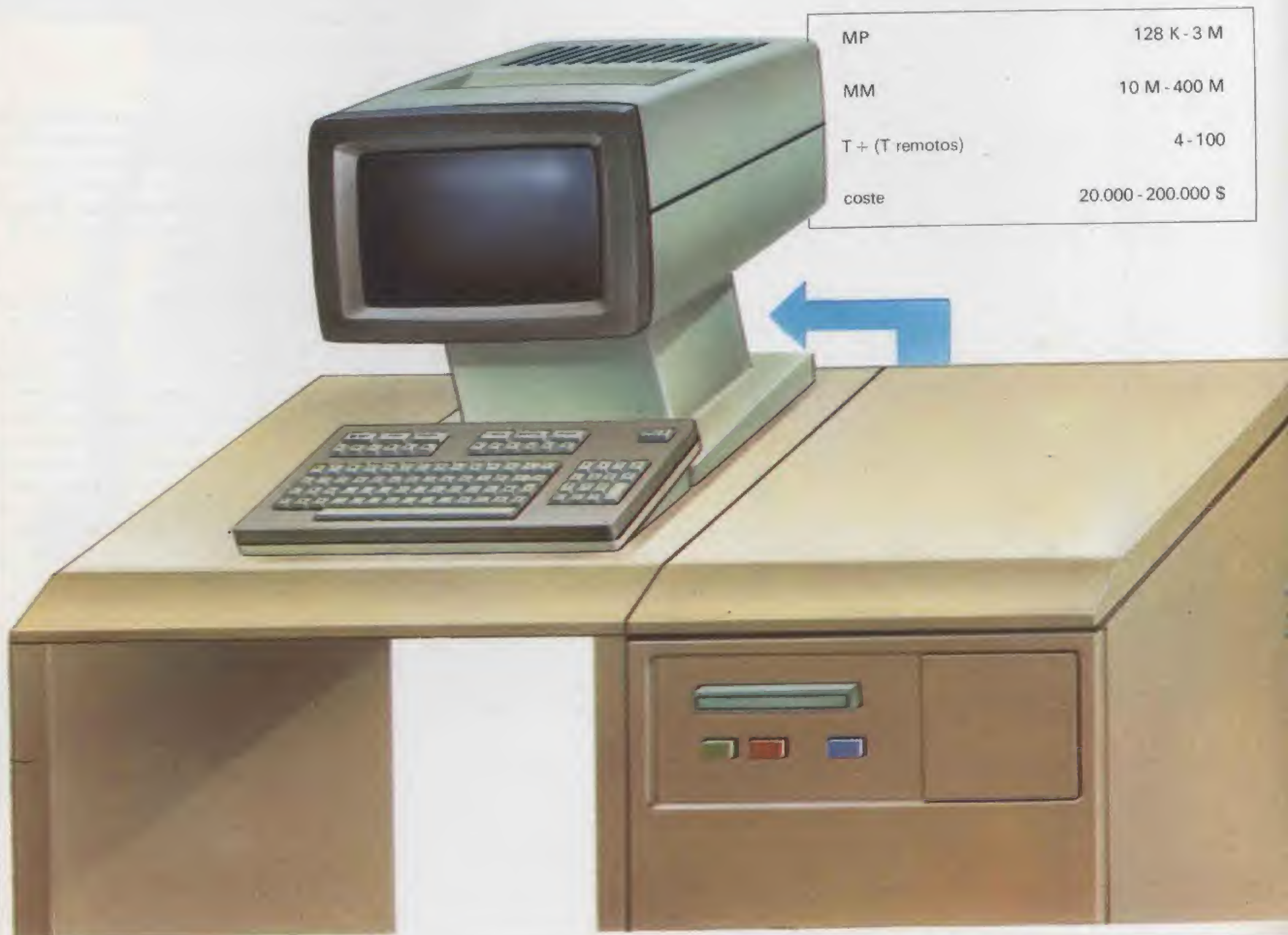
En una situación intermedia está el *miniordenador*, más grande y veloz que un microordenador y capaz de responder, en

algunos casos, a una docena de usuarios simultáneamente. También el precio de un miniordenador está situado entre los de los otros dos.

Elementos de un miniordenador El miniordenador, en la mayoría de los casos, no se vende como unidad separada, sino como una parte de sistemas integrados de ordenadores pensados para una aplicación determinada.

Normalmente, un miniordenador tiene una CPU, o unidad central de proceso, donde se procesan todos los datos. Casi todos los miniordenadores pueden almacenar más de 3.200 "palabras" de ordenador en su memoria. La mayor parte de los miniordenadores utiliza longitudes de palabras de 16 ó 32 *bits*. De este volumen de información se puede disponer inmediatamente por estar almacenado en la memoria principal; además, los miniordenadores tienen conectadas unidades de disco o unidades de cinta magnética para almacenar datos fuera de la memoria principal, pero disponibles en pocos segundos o en fracciones de segundo.

No existe límite para los datos que puede almacenar un miniordenador en las memorias de cinta o de disco. Muchas má-





Los miniordenadores están formados por una unidad central de proceso a la que se conectan hasta cien terminales. Las



vés de una línea telefónica o a partir de instrumentos científicos. Todos los miniordenadores tienen que tener también al menos un dispositivo de salida para proporcionar los datos procesados. Los sistemas más comunes son las impresoras y las pantallas, ambas muy útiles.

Principales aplicaciones de los miniordenadores Los miniordenadores se utilizan mucho en oficinas y laboratorios donde trabajan entre 50 y 500 empleados.

Muchas empresas tienen sus registros de personal y de contabilidad en miniordenadores, que están adaptados a menudo para aplicaciones de tratamiento de textos. Debido a su precio relativamente bajo, los utilizan también pequeños laboratorios, pequeñas industrias, empresas medianas y pequeñas, etcétera.

Los miniordenadores se emplean cada vez más en una modalidad denominada *de tiempo compartido*, que es en realidad una conexión entre varios miniordenadores —formando una red operativa en un determinado lugar— capaz de proporcionar la potencia de cálculo y la flexibilidad de una gran unidad central. El área completa de una red local —que conecta miniordenadores, microordenadores, procesadores de textos y otros aparatos electrónicos de oficina— es un campo en rápido y continuo desarrollo, con miniordenadores que aportan normalmente la inteligencia central y el control del sistema.

↓ características de los miniordenadores se han resumido en la tabla de la página anterior: MP indica la capacidad de la memoria principal; MM, la memoria de cada una de las unidades; T, terminal. Se han resumido también los costes; éstos son relativamente bajos,

por lo que el miniordenador es accesible para las pequeñas empresas. Los miniordenadores se utilizan en las oficinas, en los laboratorios y en las industrias para llevar la contabilidad, los registros de personal, el ensamblaje automático, el control de procesos, etcétera.

quinas pueden acceder sistemáticamente a más de un millón de palabras en cualquier instante.

Todos los miniordenadores tienen por lo menos un dispositivo de entrada, utilizado para introducir los datos en la CPU. Los teclados electrónicos y las pantallas son las unidades de entrada más comunes en los miniordenadores, aunque las entradas se pueden obtener en muchos casos directamente de otros ordenadores a tra-

Véase **Microordenador; Ordenador; Ordenador, unidad central de proceso; Ordenador personal; Procesador de textos**

Misil

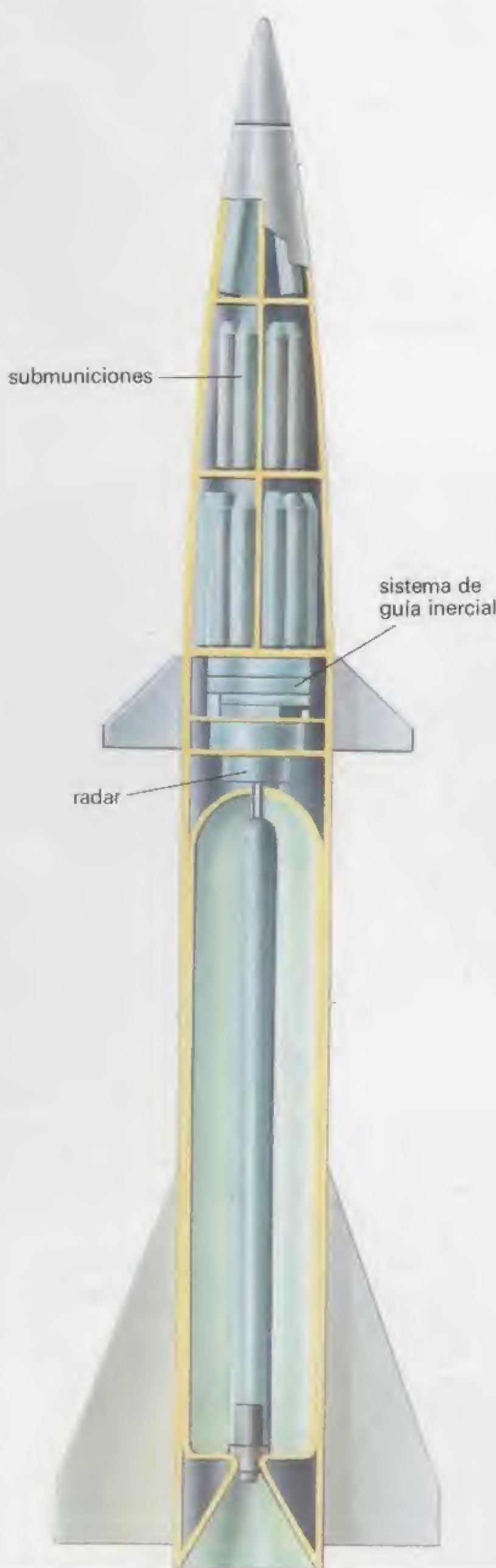
Por *misil* —del término latino *missile*, que indica un objeto arrojado sobre un blanco— se entiende actualmente cualquier arma que, después del lanzamiento, está dotada de propulsión autónoma, generalmente proporcionada por un motor-cohete, o bien, para determinados fines, por un motor a chorro. Los misiles con propulsión a chorro tienen una cota operativa limitada desde el momento en que el motor requiere oxígeno atmosférico para su funcionamiento. Por el contrario, los misiles con motor-cohete llevan a bordo —junto con el combustible— el oxidante necesario para la combustión, de ahí que puedan atravesar la atmósfera y alcanzar el espacio exterior privado de oxígeno.

Existen dos tipos fundamentales de misiles: los guiados y los no guiados. Un misil guiado puede cambiar durante el vuelo su propia trayectoria y, así, puede dirigirse con considerable precisión hacia el blanco directamente o después de maniobrar. Los misiles no guiados siguen un plan de vuelo preestablecido, y, una vez lanzados, no pueden desviarse de su propia trayectoria. Del mismo modo que los proyectiles de artillería, estos misiles siguen una trayectoria balística cuyas características dependen de la fuerza propulsora y del ángulo de proyección; por tal motivo, son a menudo llamados *misiles balísticos*. De los dos tipos de misiles, los guiados son hoy los más importantes.

La historia de los misiles se remonta a tiempos antiguos. Ya en el siglo XIII los chinos usaban pólvora para su propulsión. En el transcurso de los siglos, sin embargo, las armas de artillería se mostraron más precisas, de modo que los misiles no adquirieron importancia como armas hasta el siglo XIX, cuando fueron empleados los cohetes de Congreve y de Hale. El almirante inglés Horacio Nelson empleó nada menos que unos 25.000 cohetes de Congreve para bombardear e incendiar gran parte de Copenhague en 1810, y en 1812 se emplearon contra Fort McHenry, en Baltimore. La era de los misiles modernos comenzó en 1944, durante la II Guerra Mundial, cuando los alemanes probaron y lanzaron con éxito el primer misil balístico V-2 con motor-cohete contra Londres en otoño de ese año. Los V-2 se desarrollaron posteriormente a las V-1, bombas volantes propulsadas por un motor pulso-reactor, dotadas de reducida cota de vuelo, de radio de acción limitado y escasa precisión, que representaron el primer misil crucero. Aproximadamente 4.000 misiles V-2, en cuya ojiva iba depositada una

Tres generaciones de misiles americanos. Bajo estas líneas, misil aire-superficie Maverick, de radio de acción intermedio, con un sistema de guía basado en la televisión. Más abajo, misil anticarro TOW, de corto radio de acción,

cuya primera versión se remonta a los años sesenta. A la derecha, misil de largo alcance capaz de liberar otros pequeños misiles. En la fotografía de ambas páginas, dotación de misiles de los modernos aviones de combate.



Stefano Archetti-Europeo

carga de 900 kg de explosivo, fueron lanzados durante la II Guerra Mundial con graves efectos sobre la población civil, a pesar de estar dotados de un sistema de guía elemental. Al final de la guerra, el inventor de las V-2 —el alemán Wernher von Braun— se incorporó al equipo científico norteamericano que trabajaba en Baviera, trasladándose después a Estados Unidos, donde llegó a ser uno de los principales artífices del esfuerzo misilístico y espacial estadounidense. A su vez, los científicos alemanes capturados por los soviéticos fueron utilizados en los programas misilísticos y espaciales de la Unión Soviética durante una decena de años después de terminada la guerra.

La disuasión nuclear El arma más terrible de la historia de la Humanidad está constituida por el misil guiado con cabeza nuclear y por las diferentes versiones responsables de la "estrategia del terror", que mantiene una paz precaria entre las dos superpotencias mundiales desde los años de la "guerra fría" —iniciada en 1948— hasta nuestros días.

El concepto de *disuasión* se basa en la posibilidad de que el país que utilice primero las armas nucleares sea destruido por un contraataque nuclear. Esto presupone que la nación atacada disponga de un arsenal nuclear que no sea destruido en el primer ataque. En las actuales condiciones estratégicas, tales armas están dispersas y protegidas en silos de almacenamiento debidamente fortificados, o estibadas a bordo de aviones que están constantemente en vuelo, según programas de relevo continuo, o en submarinos.

Hasta mediados de los años setenta, Estados Unidos disponía de la mayor flota de tales submarinos, armados con misiles Polaris y Poseidón que pueden ser lanzados durante la navegación. A partir de entonces, la Unión Soviética ha ido superando a Estados Unidos en cuanto al número de misiles estratégicos lanzables desde submarinos. Los misiles balísticos intercontinentales (ICBM) han llevado a cabo notables progresos y actualmente tienen un radio de acción real de más de 11.000 km y un alto grado de precisión. Ambas superpotencias disponen de varios tipos de

misiles intercontinentales. El más mortífero de estos tipos es el MIRV (*multiple independently targeted reentry vehicle*), o sea, el misil de cabeza múltiple de blanco independiente, que puede llevar varias cabezas nucleares. Estas están constituidas por bombas de hidrógeno preparadas para un lanzamiento separado sobre diferentes blancos cuando el misil se aproxima a la fase final del vuelo. Si bien con los tratados de limitación de las armas estratégicas (SALT) se intenta reducir la cantidad de armas estratégicas de diverso tipo, los arsenales actuales de las dos grandes potencias son suficientes como para destruir al adversario varias veces (*overkill*).

Además de los misiles estratégicos, existen misiles tácticos para el combate en tierra, en aire y en mar. Los misiles tierra-aire (SAM) se han mostrado muy eficaces como armas de defensa antiaérea. Los misiles aire-aire (AAM) han sustituido a las ametralladoras y cañones como arma fundamental de los aviones; en general son del tipo autoguiado por un termosensor que los hace dirigirse hacia el gas incandescente de la tobera de los motores



a reacción. Los misiles aire-tierra (ASM) pueden ser guiados a la vista por el piloto, utilizando como referencia las estelas de humo y/o de calor emitidas por blancos móviles como los carros de combate. Los misiles tierra-tierra (SSM) parten de asentamientos terrestres contra un blanco también en tierra. Según su alcance, se dividen en *intercontinentales* (ICBM), *intermedios* (IRBM y MRBM) y *de corto alcance* (SRBM).

Misiles crucero y ASROC El moderno misil crucero, propulsado por un motor a reacción que utiliza el oxígeno atmosférico, es, bajo ciertos aspectos, una reminiscencia de las V-1 utilizadas por los alemanes en la II Guerra Mundial. A diferencia de las V-1, el moderno misil crucero vuela hacia su blanco —que puede estar distante a más de 1.500 km— a baja cota, guiado a la vista por una telecámara colocada a proa. Los misiles crucero tienen una elevada precisión y pueden ser lanzados desde tierra, desde aviones en vuelo o desde barcos en navegación.

El cohete antisubmarino (ASROC) puede considerarse como el desarrollo más reciente de las bombas de profundidad. Combina fases operativas en el aire y bajo el agua. Cuando se lanza, vuela según una trayectoria que le guía hacia donde se supone que hay un submarino, a continuación se sumerge en el agua y se convierte en una especie de torpedo que se dirige hacia el objetivo siguiendo el ruido de los motores del submarino.

Los recientes desarrollos de la miniaturización de los circuitos electrónicos han conducido a notables mejoras en los sistemas de guía de los misiles. Los radares,

por ejemplo, han alcanzado dimensiones tan reducidas que pueden ser colocados a bordo de los propios misiles. Lo mismo sucede con los sistemas de guía inercial de a bordo, que mantienen el misil en la trayectoria hacia el blanco; con el mecanismo acelerométrico, que revela los cambios de dirección y los corrige; y con el ordenador, que interpreta los datos.

De la misma manera como se han desarrollado los misiles, han evolucionado los sistemas antimisiles para destruirlos. Estos sistemas son extremadamente complejos porque, durante el tiempo normal de vuelo de un misil ICBM hacia el blanco (aproximadamente 35 minutos), el misil antimisil (ABM) debe localizar, revelar y destruir el misil enemigo. Todo esto sucede a cotas extremadamente altas y a velocidades elevadísimas. En 1972 los Estados Unidos y la Unión Soviética firmaron un tratado para limitar a 20 (y posteriormente a 100) los antimisiles en dotación en cada uno de los países. Sin embargo, no se conoce la entidad real de los dos sistemas ABM.

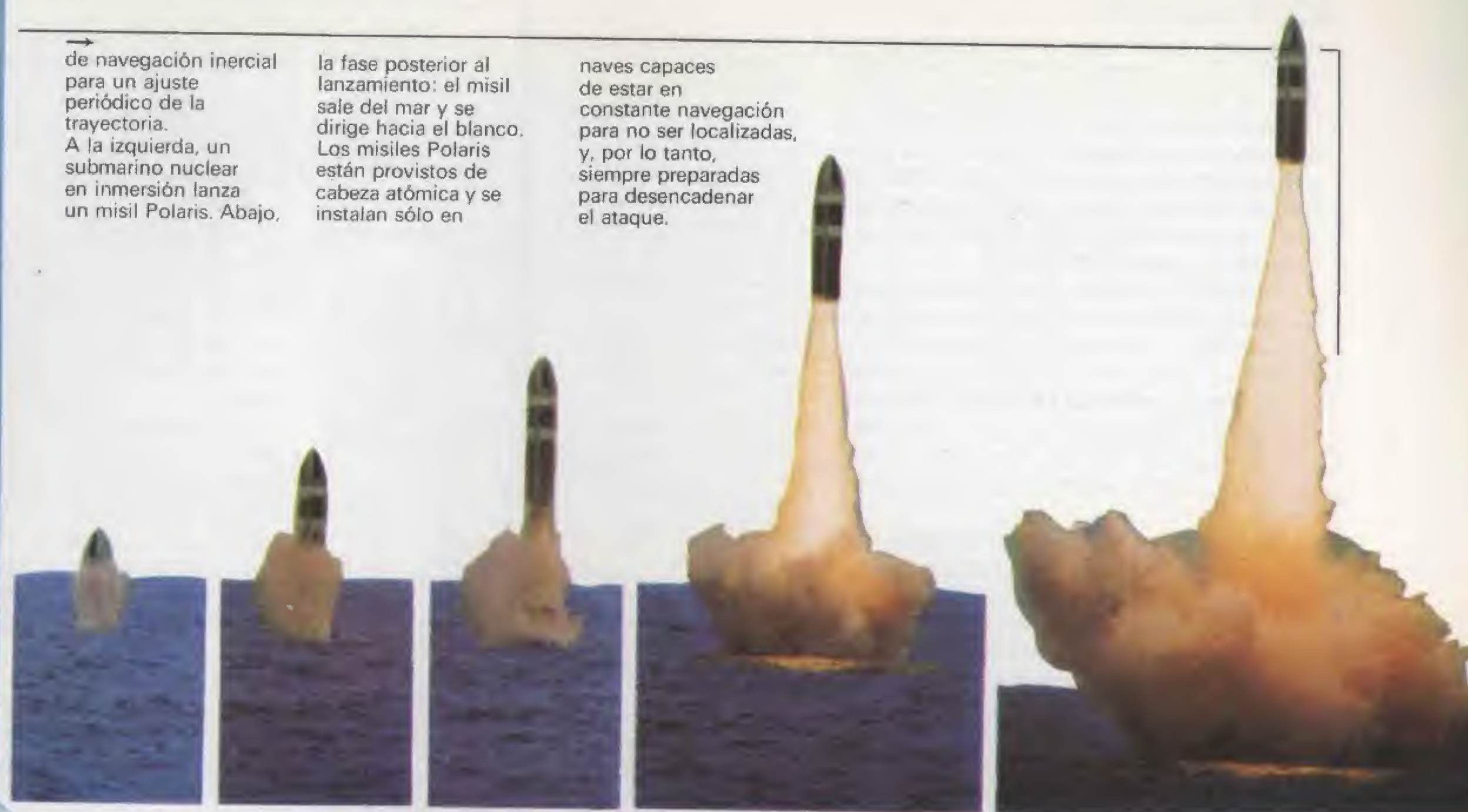
Los motores-cohete, que se emplean en la propulsión de los misiles estadounidenses o soviéticos, son fundamentalmente análogos a los usados en las misiones espaciales. Los misiles Atlas y Titán, utilizados por los Estados Unidos, empleaban inicialmente combustibles criogénicos como hidrógeno líquido, que debe mantenerse a temperaturas extremadamente bajas (-253 °C). No era posible, por este motivo, mantener un cohete completamente repostado de combustible, y se hizo esencial, por tanto, desarrollar combustibles sólidos o bien combustibles líquidos almacenables. Actualmente, la ma-



Abajo, los misiles comprendidos en el acuerdo de las dos superpotencias, Estados Unidos y Unión Soviética. Los misiles Trident y Poseidón (estadounidenses) y el SS-N (soviético) van montados sobre submarinos, mientras el AS-3 (soviético) se lanza desde aviones en vuelo. Uno de los misiles más modernos es el Tomahawk, un

misil crucero subsónico equipado con un turborreactor de doble flujo. Puede llevar una carga nuclear 20 veces superior a la lanzada sobre Hiroshima. Está dotado de un cerebro electrónico muy complejo y de dimensiones muy reducidas; es, en efecto, del tamaño de un balón de fútbol. Este misil está también provisto de un sistema





→ de navegación inercial para un ajuste periódico de la trayectoria. A la izquierda, un submarino nuclear en inmersión lanza un misil Polaris. Abajo,

la fase posterior al lanzamiento: el misil sale del mar y se dirige hacia el blanco. Los misiles Polaris están provistos de cabeza atómica y se instalan sólo en

naves capaces de estar en constante navegación para no ser localizadas, y, por lo tanto, siempre preparadas para desencadenar el ataque.

yor parte de los misiles estratégicos estadounidenses está dotada de motores-cohete de combustible sólido. Los misiles Minuteman, estacionados en silos subterráneos, y los Polaris, situados a bordo de submarinos atómicos sumergidos, son las principales armas misilísticas de Estados Unidos, junto con los misiles MX y el misil para submarinos Trident. Por afortunada ironía de la suerte el arma más costosa, compleja y mortal ideada por el hombre no ha sido jamás realmente utilizada, pero forma parte, como un

enorme peón, del gigantesco juego de azar entre las dos superpotencias. Estos misiles son tan destructores (más de mil veces más potentes que las dos bombas nucleares lanzadas en 1945 sobre Hiroshima y Nagasaki), que ninguna de las dos partes se ha aventurado a su empleo. El querer o no una acción en este sentido significa dar una respuesta al futuro del hombre sobre la Tierra.

Véase **Armas nucleares; Balística; Bomba "inteligente"; Bomba y mina; Torpedos y otras armas subacuáticas**

UNION SOVIETICA



misiles

misiles estratégicos

AS-3	SS-20	SS-4	SS-5	SS-N-6	SS-19	SS-17	SS-18
70	333	275	25	400	310		
400	3.100	1.250	2.500	1.900	6.200	6.200	6.800
1	1-3	1	1	1-2	1-6	1-4	1-10

Mobiliario

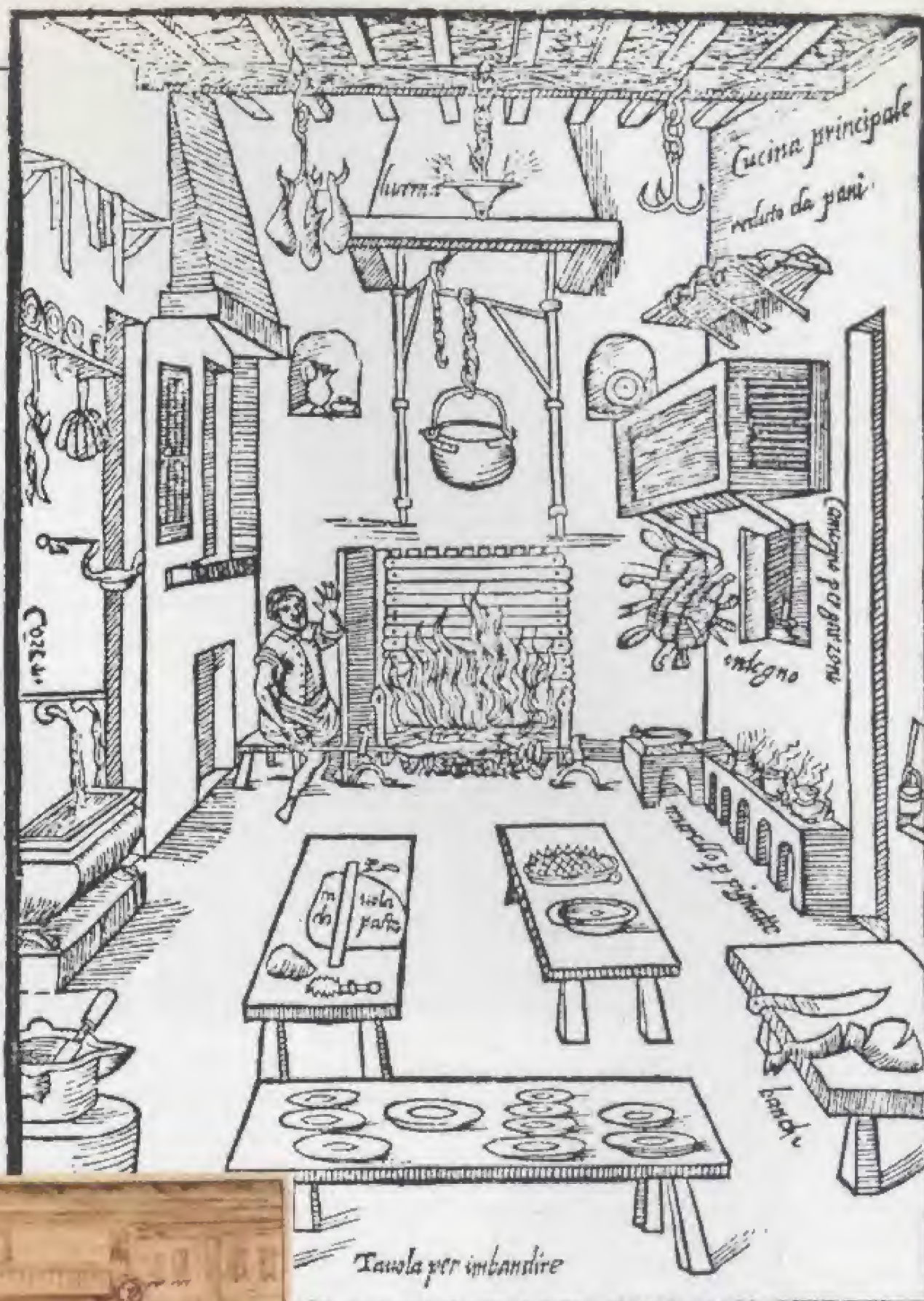
Aunque no constituyen una necesidad primaria como la comida, la vivienda y el vestido, los muebles facilitan la adaptación de nuestro cuerpo a las incomodidades del mundo físico. En efecto, sería muy desagradable vivir sin mesas sobre las que comer, sillas en las que sentarse y camas donde dormir.

Aunque el mobiliario ha sufrido muchas transformaciones a lo largo de los siglos, su estructura de base ha permanecido invariable. Hace más de 5.000 años, en el antiguo Egipto existían ya sillas plegables de madera (muy similares a las de cáñamo y aluminio usadas hoy) que constituyeran un asiento estable y portátil.

Historia del mobiliario occidental Los muebles hicieron su aparición en las primeras civilizaciones sedentarias de Egipto y de Grecia. En las tumbas egipcias se hallaron numerosos objetos de mobiliario: camas, mesillas, bandejas, armarios. En Grecia los muebles se caracterizaron por su elegancia, simplicidad y armonía, sobre todo en los asientos y camas. Estas características pasaron, con mayor refinamiento, al mundo romano.

La cama es quizá el mueble occidental más antiguo. Las camas egipcias estaban formadas simplemente por una estructura

El Renacimiento señala uno de los períodos de máxima transformación; así, costumbres y hábitos del vivir cotidiano se modifican. De ello tenemos un testimonio en la extensión de los espacios habitables, entre los que se destaca la cocina, que refleja la organización cada vez más racional de la vida doméstica. El grabado de la derecha, que aparece publicado en Venecia en 1570, constituye un ejemplo del modo de amueblar una pieza tan compleja. Abajo vemos, por el contrario, un interior flamenco donde se refleja la idea de la economía del espacio, típica tal vez de una civilización acostumbrada a las naves y a sus angostos espacios, así como al sentido de intimidad propio de la burguesía holandesa: cocina, dormitorio y salón en un único aposento.



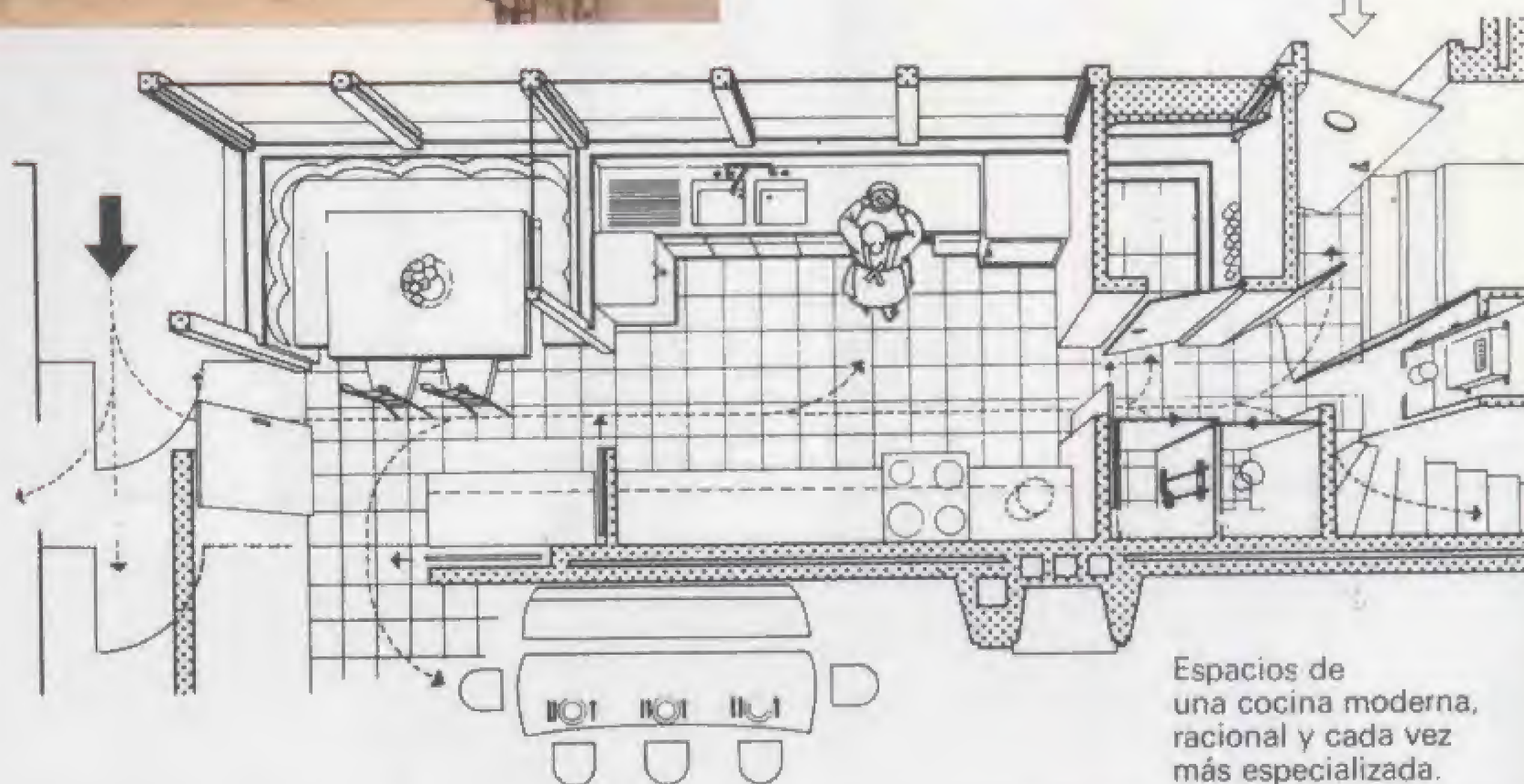
con cuatro patas sobre las que eran tensadas cuerdas de lino que ofrecían a quien dormía en ellas una superficie elástica y confortable sobre la cual reposar.

La mayor parte del mobiliario egipcio era portátil y estaba decorada con símbolos religiosos, sobre todo representaciones de animales. Estas obras de talla totémicas construidas para las familias reales egipcias continuaron siendo durante siglos un elemento decorativo en el diseño de los muebles. Los artesanos españoles de la Edad Media se inspiraron en ellas, y tres siglos más tarde volvieron a hacer su aparición en el estilo gótico inglés.

El mobiliario de calidad, que en las civilizaciones griega y romana se había

puesto al alcance incluso de los burgueses, se hace escaso de nuevo a los comienzos de la época medieval. Los arcones, que a menudo no eran más que seis tablas de madera clavadas toscamente o mantenidas juntas mediante espiches, constituían el principal tipo de mobiliario de los nobles medievales, dado que podían servir como baúl, silla, armario y hasta como escritorio.

El desarrollo económico y cultural de los siglos XIV y XV influyó también en el mobiliario, no sólo en cuanto a la elegancia y refinamiento de las decoraciones, sino también en lo referente a la delicadeza de su construcción. Las junturas de los muebles fueron mejoradas y se idearon nuevos tipos de escritorios, armarios



y arcones dotados de innumerables compartimentos. Además, puesto que la producción de muebles se transforma cada vez más en un arte refinado, las personas que se ocupan de la misma se convierten en especialistas.

A partir de la carpintería, que se ocupaba un poco de todo, toma forma una nueva profesión: la *ebanistería*. El desarrollo de este nuevo arte está ligado a la difusión del chapeado, técnica mediante la cual son encoladas capas finas de madera decorativa y de calidad con otras maderas más resistentes, pero menos bellas a la vista. Comenzaron a hacerse complicadas labores de marquetería que culminaron con la realización de chapeados de superficies convexas, cóncavas y curvas en los adornos rococós del siglo XVIII.

En los últimos doscientos años muchos tipos de madera semielaborada, como los contrachapados y los laminados de madera, han mejorado la duración del mobiliario. Estos materiales relativamente nuevos ofrecen numerosas ventajas: son más económicos que la madera natural, menos sujetos a las contracciones y dilataciones causadas por los cambios de temperatura y humedad y, además, se pueden fabricar en las dimensiones requeridas por el tipo de mueble a construir.

La tapicería fue una innovación europea que alcanzó su mayor desarrollo en el siglo XVIII, en Inglaterra, donde los divanes y las sillas eran revestidos hasta tal punto que las únicas partes de madera que se veían eran las pátas. Desde entonces las técnicas de tapizado o forrado han cambiado radicalmente, los rellenos de crin han sido sustituidos por los de gomaespuma u otros productos sintéticos, y existe la tendencia a usar cojines sueltos, intercambiables y forrados singularmente.

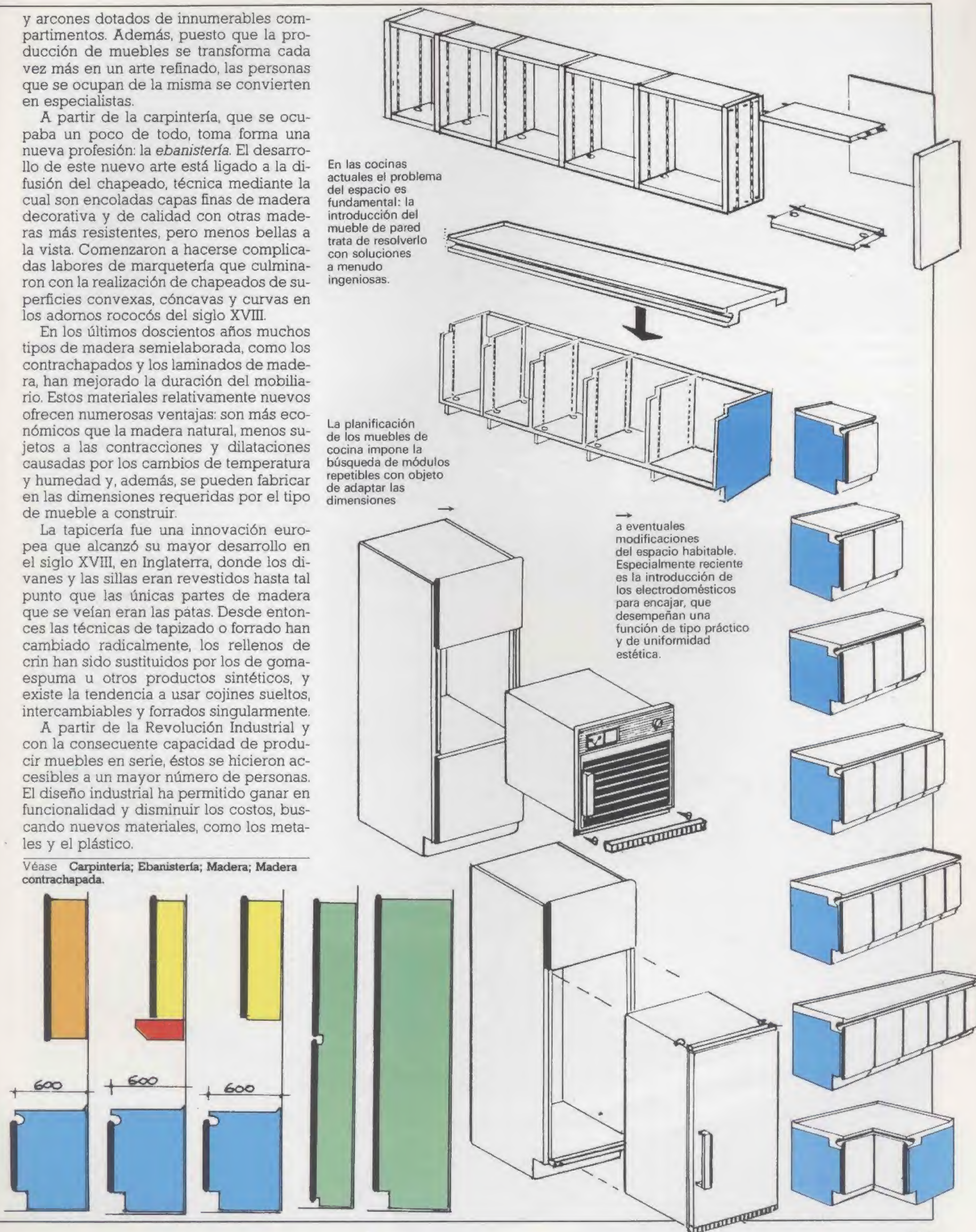
A partir de la Revolución Industrial y con la consecuente capacidad de producir muebles en serie, éstos se hicieron accesibles a un mayor número de personas. El diseño industrial ha permitido ganar en funcionalidad y disminuir los costos, buscando nuevos materiales, como los metales y el plástico.

Véase Carpintería; Ebanistería; Madera; Madera contrachapada.

En las cocinas actuales el problema del espacio es fundamental: la introducción del mueble de pared trata de resolverlo con soluciones a menudo ingeniosas.

La planificación de los muebles de cocina impone la búsqueda de módulos repetibles con objeto de adaptar las dimensiones

a eventuales modificaciones del espacio habitable. Especialmente reciente es la introducción de los electrodomésticos para encajar, que desempeñan una función de tipo práctico y de uniformidad estética.



Modelismo naval

La construcción de pequeños modelos de barcos es un arte que cuenta con muchos aficionados. Dado que el modelismo muestra el aspecto y los detalles de un objeto sin tenerlo que construir a tamaño natural, constituye un fin por sí mismo. Probablemente la utilidad más importante de los modelos navales reside en el hecho de que, antes de construir una nave verdadera, un arquitecto naval puede ver el aspecto que tendrá, descubrir los defectos ocultos del proyecto del casco y verificar su futura eficiencia en un canal de experiencias. En algunos casos los modelos realizados pueden reunirse también en museos y constituir un valioso medio de documentación.

El arte de construir pequeños modelos navales es bastante antiguo. Los egipcios realizaron modelos de naves hace unos 2.500 años para sepultarlos con sus regios difuntos al objeto de que pudieran "navegar" hacia el más allá. Los chinos construyeron también pequeños barcos que cargaban de figuritas representando a los esclavos para que éstos pudieran servir a su dueño en el otro mundo. Dichos modelos se hacían, unos, de metal, y otros, de papel; se han encontrado modelos de ambos tipos en las tumbas y asociados a lugares

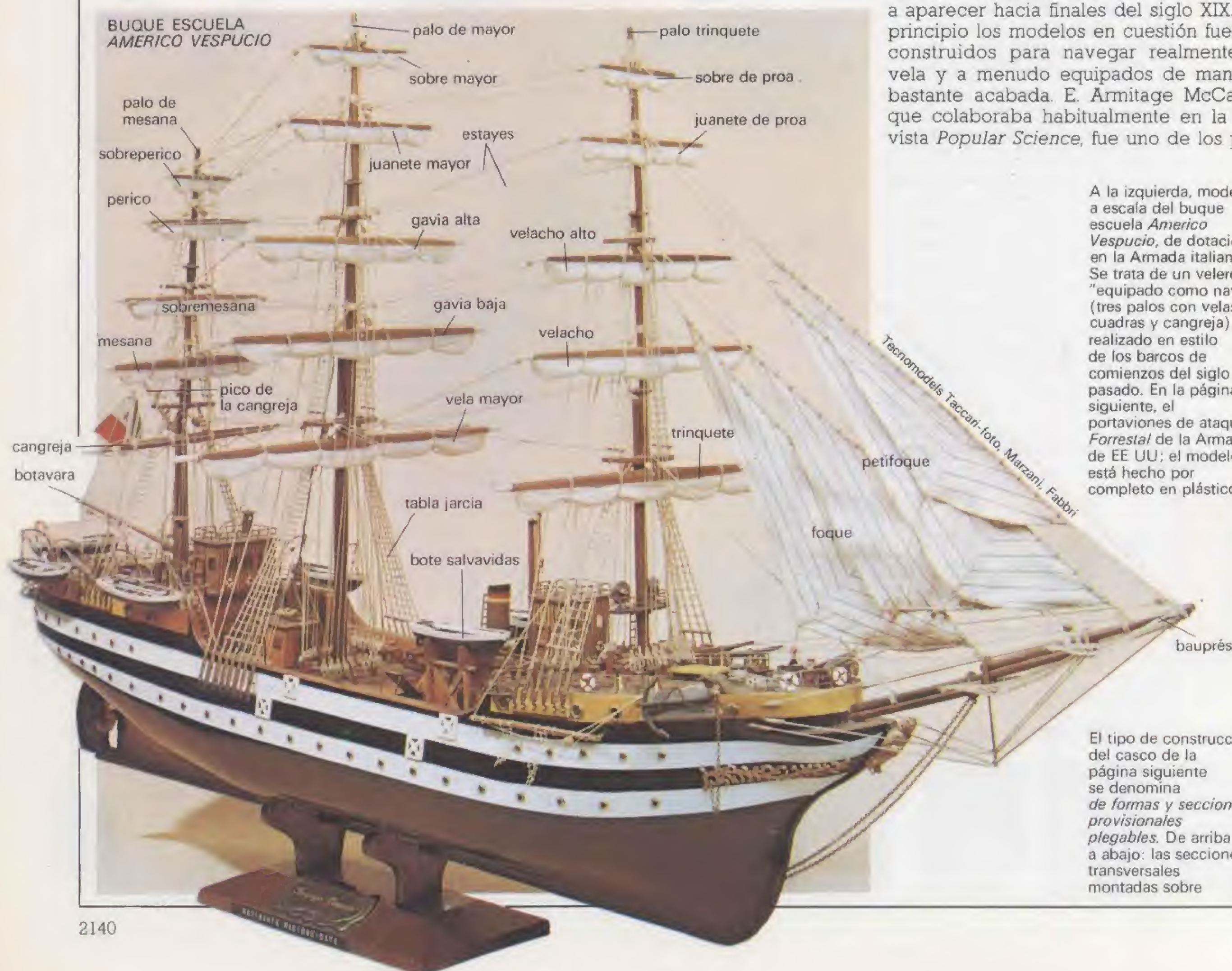
en que se desarrollaban ceremonias religiosas. En la historia del modelismo naval existe un gran intervalo, entre los egipcios y el siglo XV, del que se carece de información. Naves de aquellos tiempos a tamaño natural han sido recuperadas de turberas y del fondo del mar a lo largo de las costas noruegas y suecas (naves vikingas hundidas hacia el siglo IX). Los más antiguos modelos de aquella época datan de la mitad del siglo XVI, cuando los marineros los construían como exvotos, confiando en el éxito de sus viajes. Uno de ellos es el llamado *modelo Catalana*, construido hacia 1540, hoy conservado en un museo de Amsterdam.

Los primeros modelos de casco empezaron a aparecer alrededor de 1645; fueron contruidos por proyectistas navales para mostrar el aspecto que debería tener el casco de la nave una vez terminado. Son los conocidos como *modelos del Almirantazgo* y quizás constituyan la mayor colección existente (se exhibe en el Museo Naval Nacional de Greenwich, Inglaterra). Su nombre se debe al hecho de que se convirtió en una costumbre el construir modelos de cada navío encargado por la Marina Real, de forma que el Almirantazgo pudiera apreciar los desarrollos en el

proyecto y proponer los cambios antes de la construcción del barco a tamaño real.

En Estados Unidos el modelo más difundido es el "cortado", que hizo su primera aparición a finales del siglo XVIII. Los modelos "cortados" eran tallados y terminados por los constructores navales antes de que fueran replanteados en el astillero los diseños para el barco de encargo. Los modelos se obtenían de un sólido bloque de madera, trabajado y después pulido con papel de lija para lograr un perfecto acabado, o se hacían de capas de madera superpuestas, cortadas aproximadamente en la forma deseada, encoladas juntas y talladas y lijadas a continuación. Los constructores de barcos en América prefirieron el modelo "cortado" porque podía proporcionar a los expertos una buena indicación de cómo quedaría configurada la nave terminada, ya que es exactamente un modelo cortado en dos en sentido longitudinal. Cuando el modelo había sido tallado y acabado con papel de lija hasta conseguir la forma exacta deseada, se medía, y las líneas de construcción eran llevadas sobre papel de dibujo, iniciándose a continuación la construcción de la nave a tamaño natural.

Los primeros manuales para la construcción de modelos navales comenzaron a aparecer hacia finales del siglo XIX. Al principio los modelos en cuestión fueron contruidos para navegar realmente a vela y a menudo equipados de manera bastante acabada. E. Armitage McCann, que colaboraba habitualmente en la revista *Popular Science*, fue uno de los pri-



A la izquierda, modelo a escala del buque escuela *Amerigo Vesputio*, de dotación en la Armada italiana. Se trata de un velero "equipado como nave" (tres palos con velas cuadras y cangreja), realizado en estilo de los barcos de comienzos del siglo pasado. En la página siguiente, el portaviones de ataque *Forrestal* de la Armada de EE UU; el modelo está hecho por completo en plástico.

El tipo de construcción del casco de la página siguiente se denomina *de formas y secciones provisionales plegables*. De arriba a abajo: las secciones transversales montadas sobre

US FORRESTAL: modelo a escala del Airfix 1/600

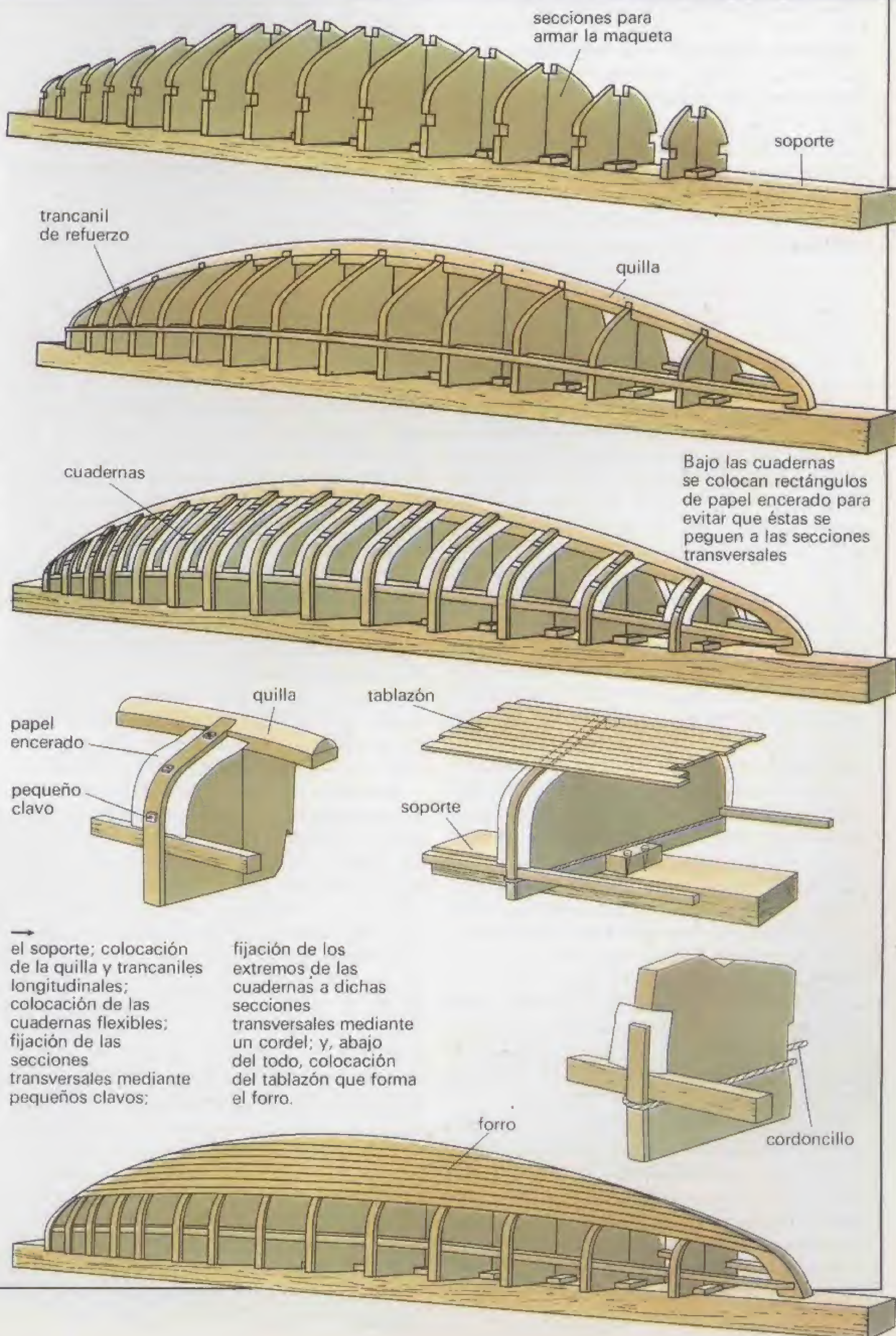
eslora: 315 metros
manga: 38,5 (76,78 con la cubierta de vuelo)
desplazamiento estándar: 59.600 toneladas
velocidad máxima: 33 nudos
autonomía: 4.000 millas a 30 nudos
armamento: 2 lanzamisiles BPDMS de
8 tubos para misiles s.a. Sea Sparrow
y unos 70 aviones de diversos tipos



La utilización de un tiralíneas de dibujo normal y de pintura convenientemente diluida ha permitido trazar líneas delgadas bien definidas para dar apariencia a la cubierta de vuelo.

meros en popularizar el pequeño modelo a escala hacia 1926. Estos modelos a escala no fueron construidos para navegar, pero eran la reproducción fiel de las embarcaciones, realizada sobre proyectos precisos, con gran habilidad y esmero. En los tiempos en que McCann lanzaba sus pequeños modelos de barcos a escala no existían todavía las "cajas de montaje" para la construcción de aquéllos. Los aficionados al modelismo debían procurarse herramientas para el tallado, papel de lija, hilo negro para las jarcias y, por último, pero no menos importante, dibujos a escala para construir el modelo. Era un trabajo que requería gran cuidado, habilidad e infinita paciencia. Los verdaderos constructores de modelos navales se esforzaban en reproducir todo lo que aparecía en la nave verdadera: ancla, castillo de popa (de ordinario con candeleros torneados del tamaño de una uña), cabrestantes, mangas de viento, claraboyas y todos los demás aparejos de un barco en navegación. Cada uno de estos detalles debía ser tallado a mano. Las jarcias de maniobras fijas se hacían con hilo negro. En un barco de velas cuadradas, las jarcias de las maniobras fijas y de las maniobras corrientes eran extraordinariamente complejas. Los cascos podían ser tallados y modelados a partir de un solo bloque de madera o de piezas formadas por capas superpuestas. Pero también podían construirse como se hace en un astillero: con quilla, cuadernas y tablazón.

Con la aparición del plástico, el arte del modelismo naval se ha transformado. El plástico puede estamparse en cualquier forma, y de esta manera es ya posible realizar todos los cuidados detalles en el tamaño apropiado y pegarlos en el momento oportuno. Naturalmente, tanto los cascos como los palos, velas, bauprés, rueda del timón y todo lo demás se modelan primero y después se pintan.



Modelo matemático

La palabra *modelo* (derivada de la italiana *modello*, y ésta, a su vez, de la latina *modulus*, molde) tiene, tanto en el lenguaje de las artes plásticas como en el ordinario, significaciones múltiples y, en cierto modo, contradictorias. Así, es fácil oír expresiones tales como "se copia de un modelo" y, también, "se trata de un modelo del original". En el primer caso *modelo* significa *original*; en el segundo, *copia*. Esta ambigüedad se ha trasladado a la terminología ética, científica y política, de modo que, en muchos contextos, se producen notables confusiones y no se sabe si el *modelo* es lo que hay que imitar o, por el contrario, la imitación misma.

Incluso en el terreno de la matemática y de las ciencias naturales y sociales que aplican la misma, se produce, a veces, usos equívocos del término *modelo*.

Modelos teóricos En numerosas disciplinas se utilizan los que, en términos muy genéricos, se llaman *modelos*, que no son sino *imágenes simbólicas* —dibujos, gráficos, dispositivos físicos, descripciones verbales, conjuntos de expresiones lógicas o matemáticas, etc.— que pretenden *explicar*, en un cierto sentido, diferentes aspectos de los fenómenos reales. Así, por ejemplo, un mapa es un modelo de una cierta porción del planeta, la maqueta de un edificio es un modelo del mismo y las ecuaciones diferenciales de la dinámica de un punto un modelo del movimiento real de una partícula física. Obviamente hay notables diferencias entre unos y otros ejemplos. Los que son relevantes al propósito que nos ocupa son los *modelos teóricos*, es decir, los que, como el caso de las citadas ecuaciones del movimiento, tienen una naturaleza abstracta (*son ideas, no cosas*). Dichos modelos pueden, a su vez, ser de muchas clases: por ejemplo, cabe que se reduzcan a una descripción, puramente narrativa o fenomenológica, o, por el contrario, que den una explicación en términos lógico-causales o, más aún, sintetizarse y abstraerse hasta convertirse en un sistema formalizado de expresiones lógicas o matemáticas. Por ejemplo: la simple descripción de cómo en un cierto ecosistema van evolucionando dos especies (una de las cuales se alimenta de la otra) sería un modelo del primer tipo; si se entrase a dar una explicación de las relaciones entre las dos especies y de cómo los ciclos de crecimiento-decrecimiento de una dependen de los de la otra, se tendría un modelo del segundo tipo. Por último, si, como se hace en biología matemática, se designasen los números de elementos de cada especie por variables matemáticas, se planteasen determinadas ecuaciones diferenciales, etc., se tendría un modelo del tercer tipo.

Cuando un modelo teórico (o una colección de modelos) es lo suficientemente general y seguro como para explicar, con suficientes garantías, un conjunto amplio de hechos y, por otra parte, tiene un gran rigor y coherencia interna, se le suele denominar simplemente *teoría*. Tal es el



Justo Barboza

Marie Jean Antoine Nicolas Caritat, marqués de Condorcet (1743-1794), fue un aristócrata partidario de la Revolución, en cuyas turbulencias pereció. Simultaneó su carrera administrativa con sus actividades académicas y políticas. (fue diputado girondino). Como filósofo fue uno de los inspiradores de la idea del progreso y directo precursor de Comte. Sus escritos matemáticos carecen de interés actual, pero se le considera como uno de los iniciadores de la aplicación de la matemática a las ciencias sociales; en concreto, fue el primero en modelizar los problemas del sufragio. Sus ideas, retomadas por matemáticos y economistas actuales, han dado origen a la teoría matemática de la elección social.

caso, por ejemplo, de la mecánica newtoniana, o de la termodinámica clásica.

Se llaman *modelos matemáticos* aquellos que, como los citados, están constituidos por sistemas de fórmulas, relaciones, etc. de índole matemática. Evidentemente, pueden darse dos situaciones muy diferentes: que se trate de modelos que den representaciones inmediatas de fenómenos reales, sin intermediación de otras teorías, o, por el contrario, que los mismos sean producto de la matematización de otros modelos teóricos previos (por ejemplo, de las ciencias físicas, económicas, etc.). Repárese, para entender la anterior distinción, en los dos ejemplos que siguen a continuación.

Primero. En un punto de venta o servicio se forman colas de usuarios. Un investigador operativo examina las leyes de frecuencia de llegada de los usuarios y de tiempos de servicio; con esos datos elabora un modelo de *teoría de colas* que es capaz de dar respuesta a preguntas tales como: ¿cuál será el tiempo medio de espera? ¿cuál la longitud media de la cola?, etc.

Segundo. Un equipo científico va a colocar en órbita un satélite artificial y encarga a los matemáticos del mismo un modelo matemático del comportamiento, por ejemplo, del cohete que debe llevar dicho satélite como carga útil. Evidentemente, es necesario, para elaborar el modelo matemático, poner en juego numerosos conceptos de las ciencias físicas (mecánica, termodinámica, química de combustibles, etc.).

Teoría de modelos Antes de insistir en el concepto de *modelo matemático*, en el sentido de imagen simbólica y abstracta de un fenómeno real o, en su caso, de versión matematizada de otro modelo teórico, conviene aludir, siquiera sea de pasada a otra *acepción matemática* del término *modelo*.

Cuando se estudia un sistema axiomático, por ejemplo el que define el concep-

to de grupo o el de la geometría euclídea, se llama *interpretación* o *modelo* del mismo a un conjunto (abstracto o concreto) tal que puede establecerse una aplicación del conjunto de los objetos (indefinidos) del sistema axiomático en él y se tiene, además, que se cumplen propiedades entre los elementos del conjunto que son homólogas con las que los axiomas imponen para los objetos del sistema formal. Cuando se tienen dos modelos de un mismo sistema axiomático para los que puede establecerse una biyección entre los correspondientes conjuntos se dice que ambos son *isomorfos*. Cuando un sistema axiomático tiene, salvo isomorfismos, un único modelo el sistema es *completo* y el modelo *categorico*. Naturalmente la completitud, como es sabido, unas veces interesa y otras no. Por ejemplo el caso, antes citado, del grupo admite muchos modelos no isomorfos entre sí ya que no es completo. Se llaman grupos concretos, precisamente, a los múltiples conjuntos dotados de una operación interna que cumplen la axiomática de grupo. Incluso puede suceder que un modelo tenga una contrapartida *física*, por ejemplo ese es el caso del espacio de nuestra percepción que, durante siglos, se ha visto como el *modelo* indiscutible del de la geometría euclídea (también se dice, a veces, que éste es el *modelo abstracto* de aquél, pero en este caso el término debe entenderse en la otra acepción, la de *modelo matemático* de una situación real).

Existe una disciplina lógica (o, mejor, *metalógica*) que se dedica a estudiar estas cuestiones y que se denomina *Teoría de modelos*. No es posible entrar a dar detalles sobre la misma. Unicamente conviene dejar constancia de la diferencia radical de los dos usos del término *modelo*. En la matemática pura —en Teoría de modelos concretamente— se trata de un conjunto que sirve de *interpretación* (o *ejemplo*, banalizando un tanto la cuestión) de

un *sistema axiomático*; por ejemplo el conjunto de las sustituciones de n elementos es un *modelo de grupo*. En las aplicaciones de la matemática un *modelo (matemático)* es un conjunto de elementos y relaciones entre los mismos que *pretenden representar* el comportamiento de un *sistema real*. En el caso de la primera acepción el término *interpretación* se refiere a un concepto exacto (aplicación de un conjunto en otro, correspondencia entre propiedades, etc.); en el segundo caso la locución *pretenden representar* se refiere a un concepto aproximado.

Clases de modelos matemáticos La matematización actual de todas las ciencias, técnicas y actividades es tan universal y profunda que la presencia de los modelos matemáticos es general y cotidiana. Los criterios para su clasificación pueden ser múltiples. Por ejemplo se habla de modelos matemáticos de la física, la química, la biología, la economía, etc. según que se trate de modelizar fenómenos físicos, químicos, etc. Podría ensayarse otro criterio en función de la sofisticación o magnitud de los objetos reales a estudiar —modelos simples o modelos de grandes sistemas— o del grado de rigor con que se haga el análisis —modelos groseros, modelos aproximados o modelos de alto nivel de exactitud—. Más fundamento tiene clasificarlos con un criterio pragmático, es decir según el uso de los mismos: modelos históricos, modelos prospectivos, modelos de control, etc. Cabe, por otra parte, hablar de modelos cuantitativos (cuando se requieren resultados en términos numéricos) o cualitativos (si se trata de obtener leyes o funciones que expliquen los fenómenos de modo general).

En realidad el criterio más aceptado de clasificación es el que se hace tomando

en consideración las técnicas matemáticas puestas en juego; por ejemplo: modelos topológicos, modelos algebraicos, modelos analíticos, modelos probabilísticos, etc. En íntima conexión con este criterio está el de distinguir los modelos en función de las variables que intervienen en ellos. Así se habla de *modelos discretos* o *continuos* (según que aquellas tomen valores sólo enteros o cualesquiera en intervalos reales) y *determinísticos* o *aleatorios*, según que se trate de variables ordinarias (en el sentido que las entiende el Análisis matemático) o aleatorias (en el sentido que las entiende el Cálculo de probabilidades). Naturalmente que el problema de modelizar un fenómeno real con un modelo discreto/continuo o determinista/aleatorio es más una cuestión de *conveniencia* (en el doble sentido del término: que *convenga* a los fines perseguidos y que se *convenga* en ello) que de la propia naturaleza de los hechos.

Por otra parte ha sido un tópico durante siglos sostener que sólo los fenómenos cuantitativos y formulables en el rígido molde determinístico eran susceptibles de modelización matemática. Hoy el Cálculo de probabilidades permite modelos aleatorios, la Teoría de conjuntos, la Lógica matemática, la Topología, etc. permiten modelos de naturaleza cualitativa, la Teoría de juegos permite modelizar situaciones competitivas, etc. Es más, la moderna Teoría de conjuntos borrosos (*fuzzy sets*), utiliza las ideas de imprecisión e inseguridad (por ejemplo: no ser blanco ni negro, alto ni bajo, etc.), al sustituir la idea clásica de que un elemento x pertenece o no pertenece al conjunto A , es decir, que la función de pertenencia a A , ψ_A , vale para x , $\psi_A(x) = 1$ o $\psi_A(x) = 0$, por el abanico de posibilidades de que $\psi_A(x)$ tome cualquier valor entre cero y la unidad.

Consideraciones adicionales La investigación operativa y la informática, una como fuente de innumerables modelos matemáticos de fenómenos reales (en la empresa, la administración pública, los servicios, etc.) y la otra permitiendo la solución práctica de aquellos modelos que requieren resultados numéricos en gran cantidad y con rapidez, han sido dos elementos importantísimos en la actual difusión y generalización de las técnicas de modelización matemática. Por otra parte, el ordenador es, a su vez, un útil potente a través de las llamadas técnicas de *simulación*, que consisten en simular directamente, mediante algoritmos mecanizados, fenómenos reales.

Por otra parte, la modelización matemática tiene amplias conexiones con otras cuestiones, como las que se apuntan telegráficamente a continuación. Una de ellas es la relativa al Análisis dimensional y la Teoría de semejanza física, disciplinas, que tratan de deducir resultados para un sistema físico a partir de los de un modelo *semejante* del mismo (donde *semejante* se refiere no sólo a que se conserven las proporciones geométricas sino las llamadas *variables adimensionales*, como por ejemplo el número de Mach, cociente entre velocidad del objeto en estudio y velocidad del sonido). Otra es la de la llamada *analogía física* (que, tal vez, debiera denominarse *matemática*), que se da cuando fenómenos diferentes (por ejemplo los de las oscilaciones mecánicas de un muelle y las eléctricas de un circuito) obedecen a un idéntico modelo matemático, aunque dando a las variables del mismo significaciones distintas. En tal caso se puede resolver el modelo matemático una vez y servir para los diferentes fenómenos. Pero, y ello es más interesante, pudiera suceder que fuera difícil (o imposible) resolver matemáticamente el modelo y también estudiar experimentalmente uno de los fenómenos, mientras que fuera fácil hacerlo con el otro. Entonces es evidente la forma de proceder: los resultados empíricos de uno de los fenómenos se trasladan al otro. Esa técnica, vieja en Física aunque de uso muy general en la actualidad, ha estado en el origen de dos ideas más recientes. Una de ellas es el Cálculo Analógico; como es sabido los calculadores analógicos, al contrario de los digitales (los ordenadores), son dispositivos electrónicos que permiten representar por corrientes eléctricas (no por impulsos) las variables continuas del modelo matemático de un determinado problema real y sustituir los cálculos por medidas. La otra es estrictamente matemática y está en la base de la Teoría general de Sistemas: la coincidencia entre modelos permite establecer isomorfismos entre sistemas físicos, biológicos, económicos, etc. muy diferentes entre sí y extraer leyes de tipo general para los mismos.

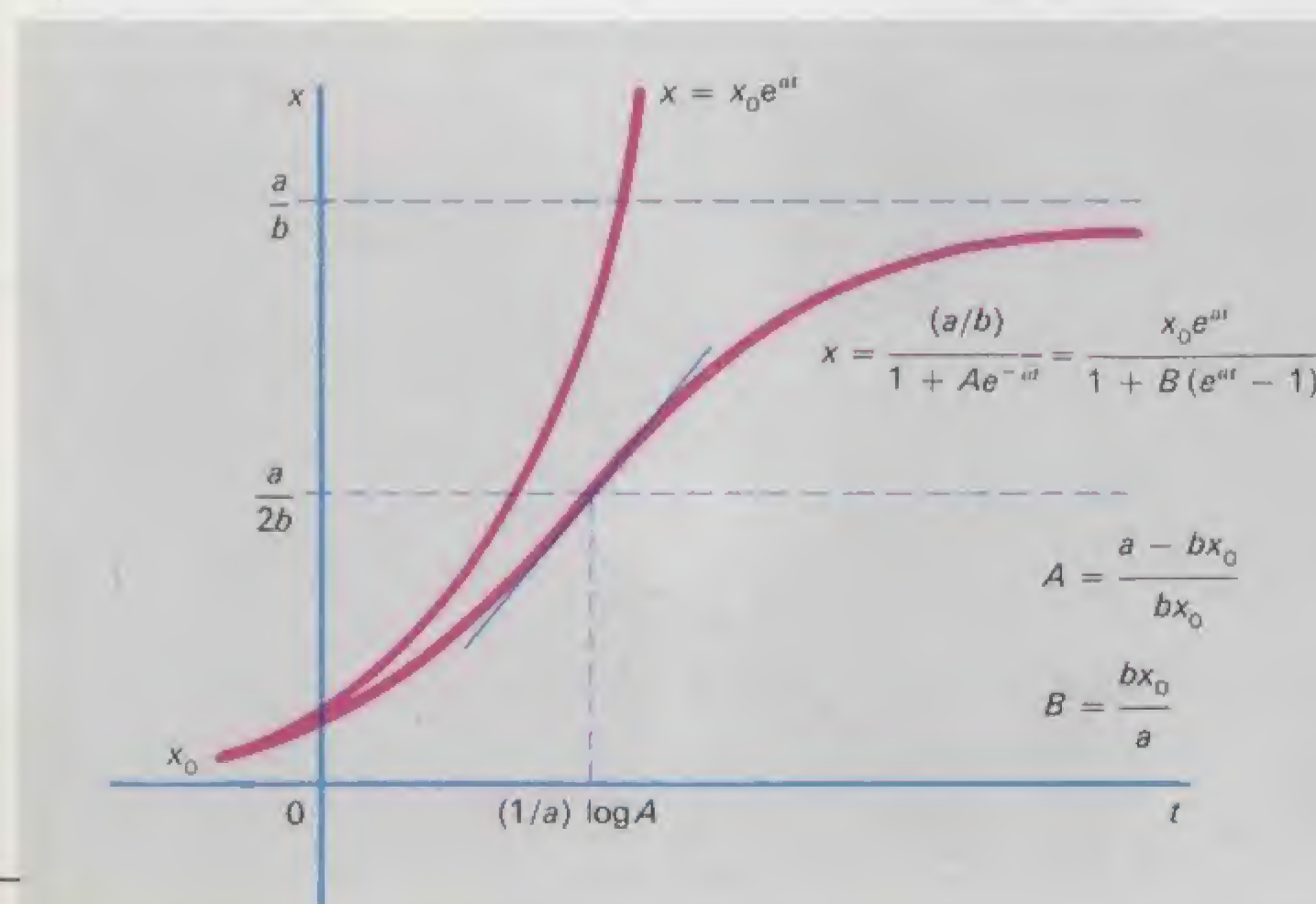
Véase Estructura matemática; Investigación operativa; Lógica matemática; Matemática; Método axiomático; Sistema; Teoría de semejanza física

Muchos fenómenos (físicos, biológicos, económicos, demográficos, etc.) se modelizan por la ecuación diferencial: $\dot{x} = ax$, que expresa que la velocidad de

crecimiento de la magnitud x es proporcional a la misma. La solución es la *exponencial*: $x = x_0 e^{at}$ (si x_0 es el valor inicial de x), que crece indefinidamente.

Un modelo más realista, en muchos casos, es el que supone que: $\dot{x} = ax - bx^2$, cuya solución es la *logística*: $x = \frac{x_0 e^{at}}{1 + (bx_0/a)(e^{at} - 1)}$

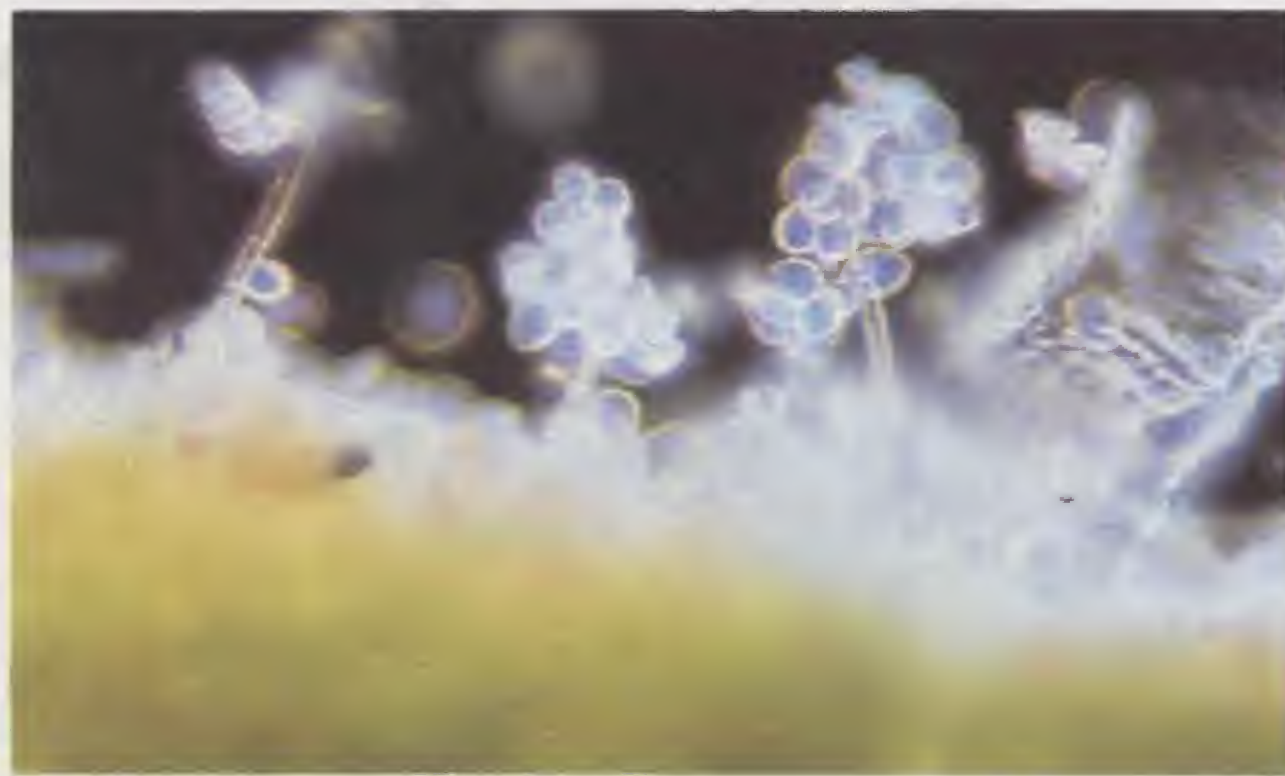
que cuando t es pequeño, prácticamente coincide con la exponencial, pero al aumentar t se aproxima asintóticamente al valor (a/b) .



Mohos

Un microscópico tapiz blanco se empieza a extender por una manzana roja y madura; unos finísimos filamentos se adentran en la pulpa, pudriéndola hasta que se vuelve blanda y viscosa. Esta colonia de hongos minúsculos se lanza al asalto de todo el fruto, y se extiende rápidamente a los frutos cercanos. De esta forma, los mohos pueden echar a perder toda una cosecha. El perjuicio que provocan estos organismos a la economía humana es enorme. Por eso, muchas de las normas para la producción y preparación de los alimentos están pensadas precisamente para evitar los mohos.

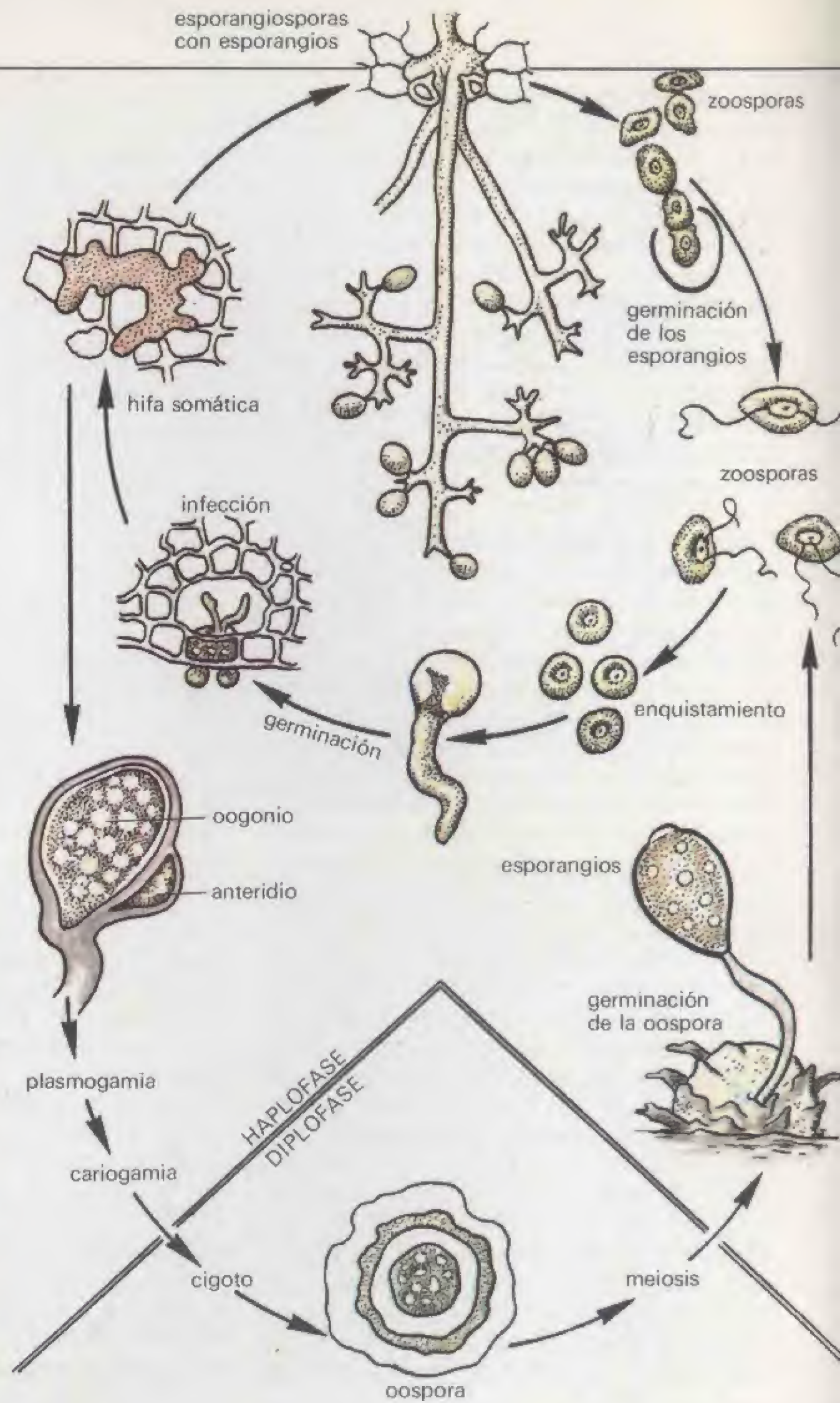
¿Qué son los mohos? Con el término *moho* se denominan muchas especies de hongos microscópicos. Tanto éstos como las bacterias son capaces de obtener la energía que necesitan para su metabolismo a partir de la descomposición del material orgánico que se encuentra en el medio. Pueden vivir en lugares muy variados, siempre que la humedad no sea muy reducida.



Las formas más interesantes las encontramos entre los Ficomicetos. En las cañas de un pantano, justo por encima del nivel del agua, se pueden descubrir grandes masas lanosas: se trata de la *Apodachilia lactea*. Sobre los huevos de los peces de agua dulce y sobre su cuerpo se puede desarrollar *Saprolegnia parasitica*, que es causa en algunos casos de una elevada mortalidad. Sobre el pan crece *Mucor mucedo*. En el cuerpo de las moscas, la *Entomophora* provoca daños de tal gravedad, que estos insectos se posan, agonizantes, en los muros y cristales para acabar muriendo al cabo de unas horas, siendo destruidos por dentro al cabo de varios días por el impetuoso desarrollo de los filamentos del hongo. Al final queda el exoesqueleto vacío rodeado de un fino halo de moho. La peronospora de la vid es debida a *Plasmopara viticola*. Sobre cualquier desecho vegetal es fácil encontrar *Rhizopus stolonifer*, que ataca sobre todo a la fruta.

Entre los Ascomicetos encontramos varias especies del género *Aspergillus*; algunas de ellas, cuando invaden los pro-

La peronospora es la enfermedad criptogámica más grave de la vid. A la derecha vemos su ciclo reproductor: partiendo de la unión de los órganos reproductores masculinos (anteridios) y femeninos (oogonios), se forma una oospora. En primavera, al germinar la oospora, se forman las zoosporas, células dotadas de movimiento flagelar. Acaban perdiendo los flagelos y enquistándose, pero en ciertas condiciones germinan en el haz de las hojas de la vid, penetrando en los tejidos a través de los estomas. En el envés se forman unos órganos reproductores asexuados, llamados *esporangios*. La germinación tiene lugar cuando a un período húmedo le

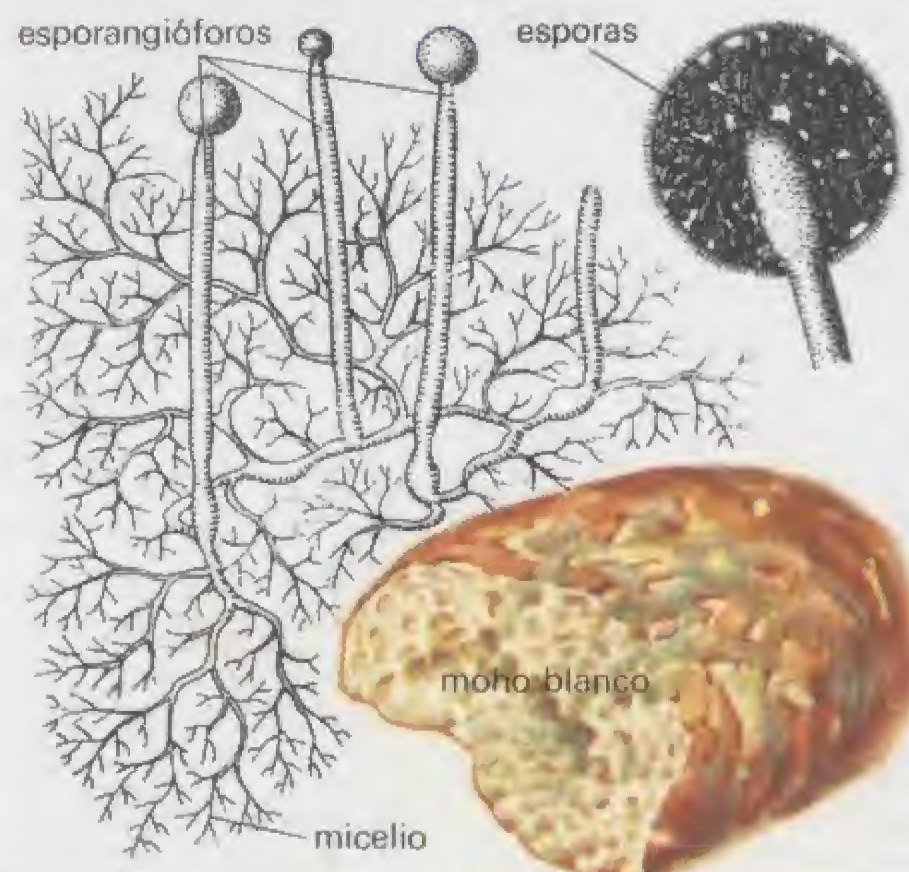


sigue otro cálido. Tras las lluvias, se fumigan las viñas para impedir el mal. Sobre estas líneas, los conidiosporangios de *Plasmopara viticola*. Abajo, *Mucor mucedo*, responsable del "moho blanco del pan". Sobre un micelio blanco

sedoso, se alzan largos esporangióforos, filiformes y sin ramificar, que tienen unas diminutas esferas en el ápice formadas por un conjunto de esporas cilíndricas e incoloras. Al género *Mucor* pertenecen especies muy

difundidas por todo el mundo, que crecen sobre cualquier tipo de materia orgánica. Abajo, a la derecha, un pedazo de pan atacado por el "moho rojo" de *Neurospora sitophila*. La predilección que tiene este hongo por

los almidones cocidos se aprovecha en Indonesia para la preparación de unas tortas llamadas *ontjom beureum*. Al llenarse la torta de hongos, el almidón se transforma en azúcares más sencillos que la hacen más digerible.





Las plantas verdes, sobre todo los árboles y arbustos, sufren los ataques de ciertas especies del orden Pirenomicetales, que provocan importantes daños en los cultivos forestales. *Neurospora* crece en cualquier desecho vegetal, e invade también las extensiones de árboles carbonizados por los incendios. En las zonas tropicales puede invadir amplias extensiones, formando grandes franjas de color naranja. En cambio, en los países templados es más conocida por formar el llamado "moho rojo" en el pan. Las cenizas y los oídos son causa de enfermedades también conocidas por "mal blanco": el cáncer del



A la izquierda, *Penicillium digitatum*, patógeno común de los frutos del limón. Las numerosas especies de *Penicillium*, conocidas como mohos verdes o azules, crecen sobre distintas sustancias orgánicas (frutas, pan, conservas, fiambres, quesos), dañando los productos alimenticios. Abajo, moho blanco que ataca a los peces de agua dulce, causado por *Saprolegnia parasitica*. El hongo se establece en la epidermis, las aletas, las branquias y la boca.



cuerpos fructíferos



A la derecha, *Claviceps purpurea*, el cornezuelo del centeno, un parásito de las gramíneas. Forma unos cuerpos cilíndricos y compactos (esclerocios) que emergen de la espiga, y a partir de ellos se forman en primavera las típicas cabezuelas esferoidales sostenidas por un pedúnculo. Durante la enfermedad, el ovario alterado segrega un líquido azucarado que atrae a los insectos, lo que favorece la rápida difusión de la misma.



ductos alimenticios, pueden provocar importantes daños en la salud humana, ya que contienen compuestos muy tóxicos.

Los *Penicillium* crecen, provocando daños mucho menos graves, sobre los agrios y quesos, así como sobre el pan y los fiambres. Muchas especies de este género se utilizan en la industria farmacéutica para la producción de ácidos orgánicos y antibióticos.

castaño, que se debe a *Endothia parasitica*; el mal blanco de la vid, provocado por *Uncinula necator*; y el cornezuelo del centeno, causado por *Claviceps purpurea*.

Ventajas y desventajas De todas formas, es bien sabido que los mohos no sólo provocan daños y pérdidas económicas. *Neurospora crassa* es, probablemente, el organismo mejor conocido, junto con *Drosophila melanogaster* (la mosca de la fruta), porque ha sido empleado provechosamente en el estudio de la Genética. *Penicillium notatum* es la especie de la que se extrajo por primera vez la penicilina, un antibiótico que en la actualidad se obtiene a partir de grandes cultivos de *Penicillium chrysogenum*. A partir de *Rhizopus* y de *Aspergillus* en cultivos sumergidos, aireados y termorregulados, se obtienen cantidades industriales de enzimas como las amilasas y las invertasas. Entre otros productos que, del mismo modo, se obtienen a partir de cultivos industriales de hongos inferiores, recordaremos el ácido cítrico, el ácido glucónico, el ácido fumárico, ciertas vitaminas, enzimas y grasas. En estos casos es muy importante la sustancia orgánica que se emplea como sustrato: glucosa, sacarosa, malta, almidones, alcohol, glicerina y melazas.

Regulando la temperatura, humedad, acidez y disponibilidad de oxígeno, se puede conseguir que los mohos trabajen para nosotros.

Una de las formas asexuadas más conocidas es la que recibe el nombre de *Penicillium*, debido a la forma de pincel de los conidióforos. Abajo, dos cultivos de especies de *Penicillium* diferentes. Se usan profusamente en la industria farmacéutica (como antibióticos),

cultivándolas en sustratos artificiales y en condiciones estériles. Su aislamiento y crecimiento tiene lugar en cubetas, tubos y probetas, o bien en botellas de vidrio tapadas con algodón en cuyo interior hay una solución nutritiva solidificada con agar.



Véase **Espora y esporogénesis; Plantas, enfermedades**

Molécula

En 1811, el físico italiano Amadeo Avogadro combinó un volumen de hidrógeno con idéntico volumen de cloro y advirtió que el gas resultante, el cloruro de hidrógeno, ocupaba un volumen que era el doble del de cada uno de los gases reaccionantes.

El pensamiento científico contemporáneo de la época sostenía que el Universo estaba compuesto de minúsculas partículas, llamadas *átomos*, que se mezclaban entre sí para formar los elementos de la materia. El científico francés Joseph Louis Gay-Lussac había demostrado que los gases reaccionan según proporciones de volumen definidas, expresadas mediante pequeños números enteros. Esto podía ser cierto sólo si los mismos volúmenes de los gases, antes y después de la reacción, contenían un mismo número de grupos de átomos llamados *moléculas*. La ley de

Avogadro, uno de los principios en que se funda la Química, afirma que en condiciones idénticas de temperatura y de presión, volúmenes iguales de distintos gases contienen todos ellos el mismo número de moléculas.)

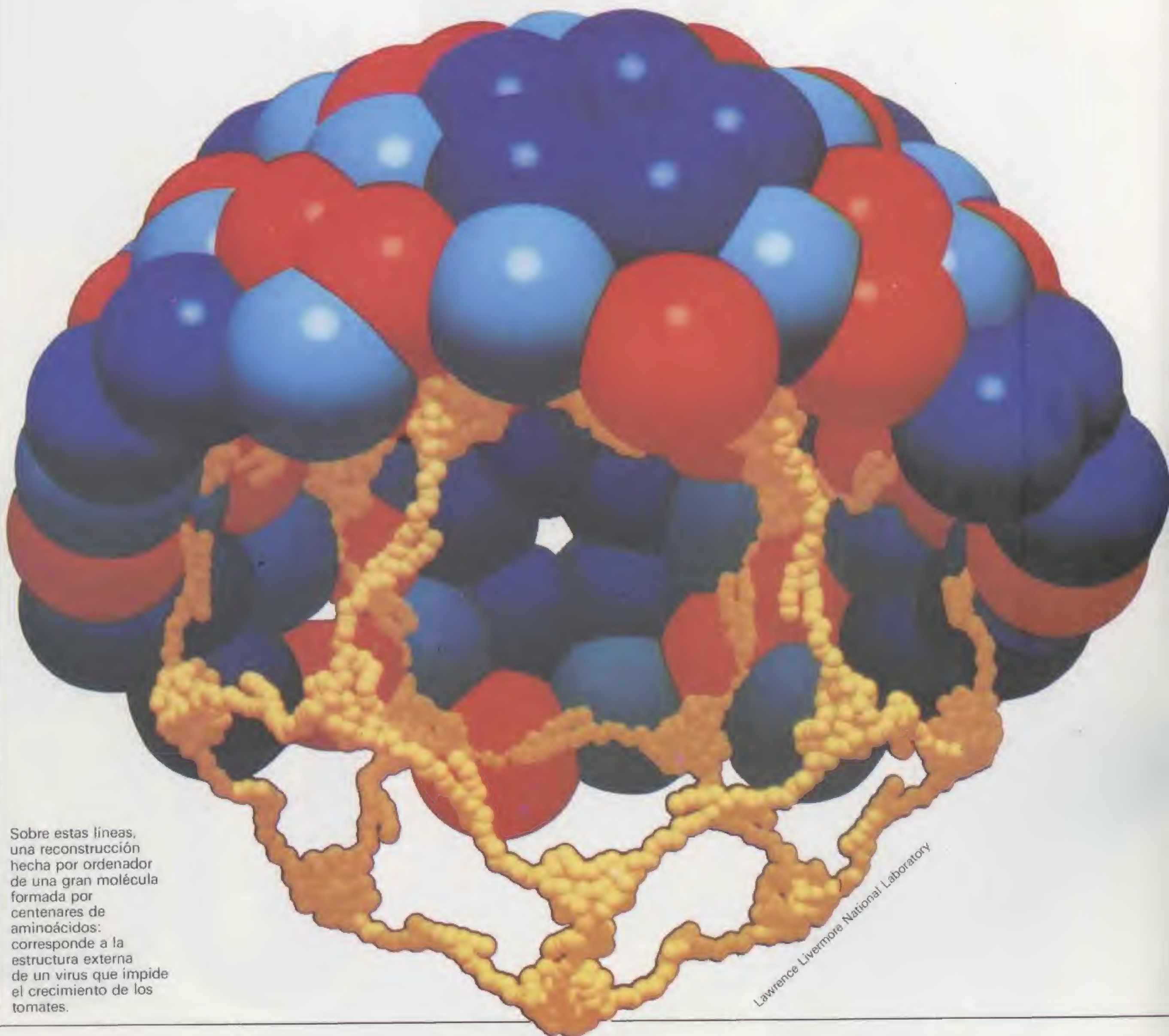
La estructura de los átomos Un átomo es la fracción más pequeña en que un elemento puede dividirse sin perder su identidad química.)

El átomo posee un núcleo, dotado de cierto número de protones con carga positiva. En torno al núcleo giran los electrones con carga negativa. En su estado fundamental de energía, el átomo es neutro, siendo igual el número de protones y electrones (número atómico).

Aunque resulta imposible determinar con absoluta precisión la posición de los electrones, los científicos son capaces de

calcular su energía. No todos los electrones de un mismo átomo están dotados de la misma energía. Los distintos niveles energéticos en los que se pueden encontrar los electrones se llaman *orbitales*.




Cómo se unen los átomos Los electrones que se encuentran en el nivel más externo de un átomo (dotados de mayor energía) son llamados *electrones de valencia*. Estos electrones, según los casos, son transferidos de un átomo a otro, o bien compartidos por dos átomos. En el primer caso (enlace *iónico*) se originan los compuestos iónicos, sólidos constituidos por iones positivos y negativos, muy extendidos en la Naturaleza, como los minerales. Pero cuando varios átomos se unen entre sí mediante enlaces en los que se comparten dos electrones, uno de cada átomo (enlace *covalente*), entonces se constitu-



Sobre estas líneas, una reconstrucción hecha por ordenador de una gran molécula formada por centenares de aminoácidos: corresponde a la estructura externa de un virus que impide el crecimiento de los tomates.

Lawrence Livermore National Laboratory

MASA ATOMICA

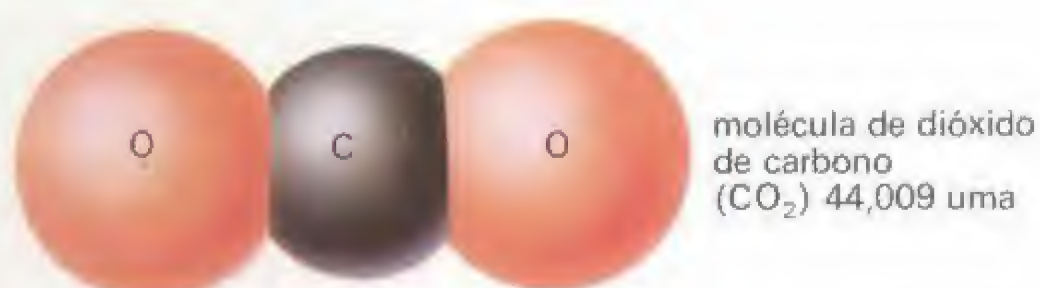
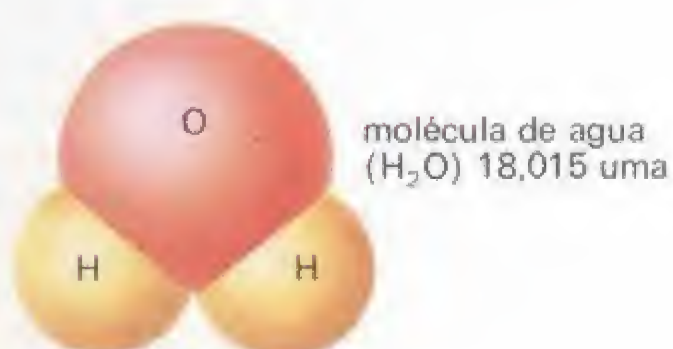
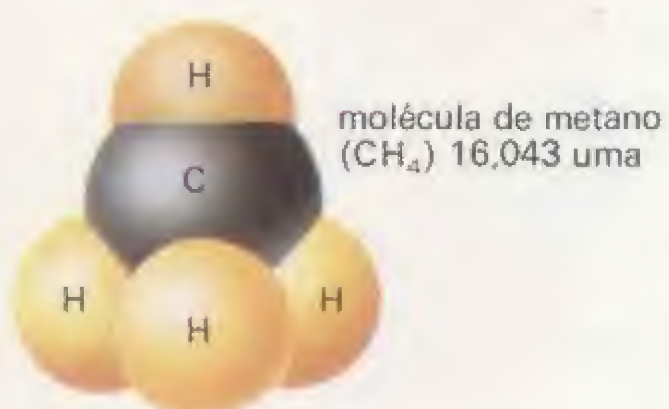
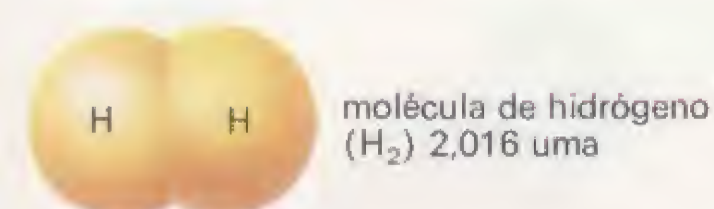
hidrógeno H		= 1,008 uma
carbono C		= 12,011 uma
oxígeno O		= 15,999 uma

La referencia estándar para las masas atómicas es el ^{12}C (carbono-12) = 12 uma (unidad de masa atómica). La masa molecular es la suma de las masas atómicas de los átomos que forman la molécula. El átomo equivale en gramos a la masa molecular expresada en unidades de masa atómica. Un mol de gas contiene siempre el mismo número de moléculas, pero su masa varía al variar la del gas. El número de moléculas presente en un mol de cualquier sustancia es el llamado *número de Avogadro*, cuyo valor es $6,02 \cdot 10^{23}$ moléculas/mol.

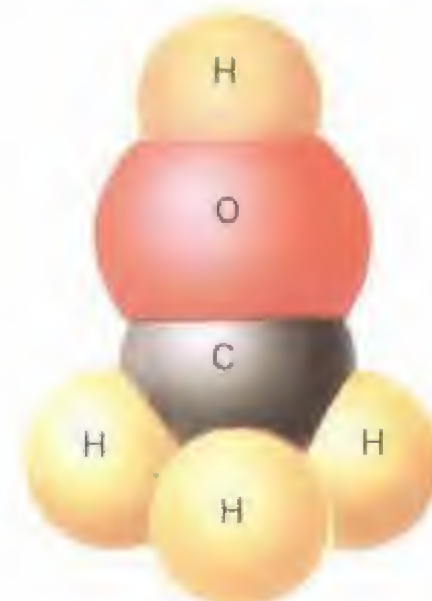
yen las moléculas. Una molécula es la parte más pequeña de una sustancia molecular que posee entidad propia. Las sustancias moleculares están formadas por asociación de gran cantidad de moléculas, unidas entre sí por fuerzas mucho más débiles que las que intervienen en los enlaces químicos. Son sustancias moleculares el oxígeno, el agua, el dióxido de carbono y las sustancias orgánicas, omnipresentes en la Naturaleza.

Las moléculas compuestas por dos átomos son llamadas *diatómicas*, y las que contienen tres átomos, *triatómicas*. Por ejemplo, una molécula de agua —que consta de dos átomos de hidrógeno unidos a uno de oxígeno— es una molécula triatómica. Las moléculas de los gases nobles o inertes están constituidas por un solo átomo. Pero hay moléculas formadas por centenares e incluso miles de átomos:

MASA MOLECULAR



molécula de alcohol metílico (CH_3OH) 32,042 uma



MOLES

1 mol de hidrógeno gaseoso = 2,016 gramos



1 mol de gas metano = 16,043 gramos



1 mol de vapor de agua = 18,015 gramos



son las *macromoléculas*, presentes en los seres vivos o fabricadas por el hombre en el laboratorio.

La masa de una molécula (masa molecular) viene dada por la suma de las masas atómicas de todos los átomos que la constituyen.

Estructura molecular La forma de una molécula viene determinada por el número y la fuerza de los enlaces químicos existentes entre sus átomos. En las moléculas diatómicas sencillas, el enlace es lineal, como H-H, que es una representación de la molécula de hidrógeno (H_2). Con moléculas triatómicas el asunto se hace más complejo. Los tres átomos pueden estar dispuestos linealmente, como en la molécula de dióxido de carbono (CO_2), o pueden orientarse según ángulos diversos, formando estructuras triangulares, como en la molécula de agua (H_2O).

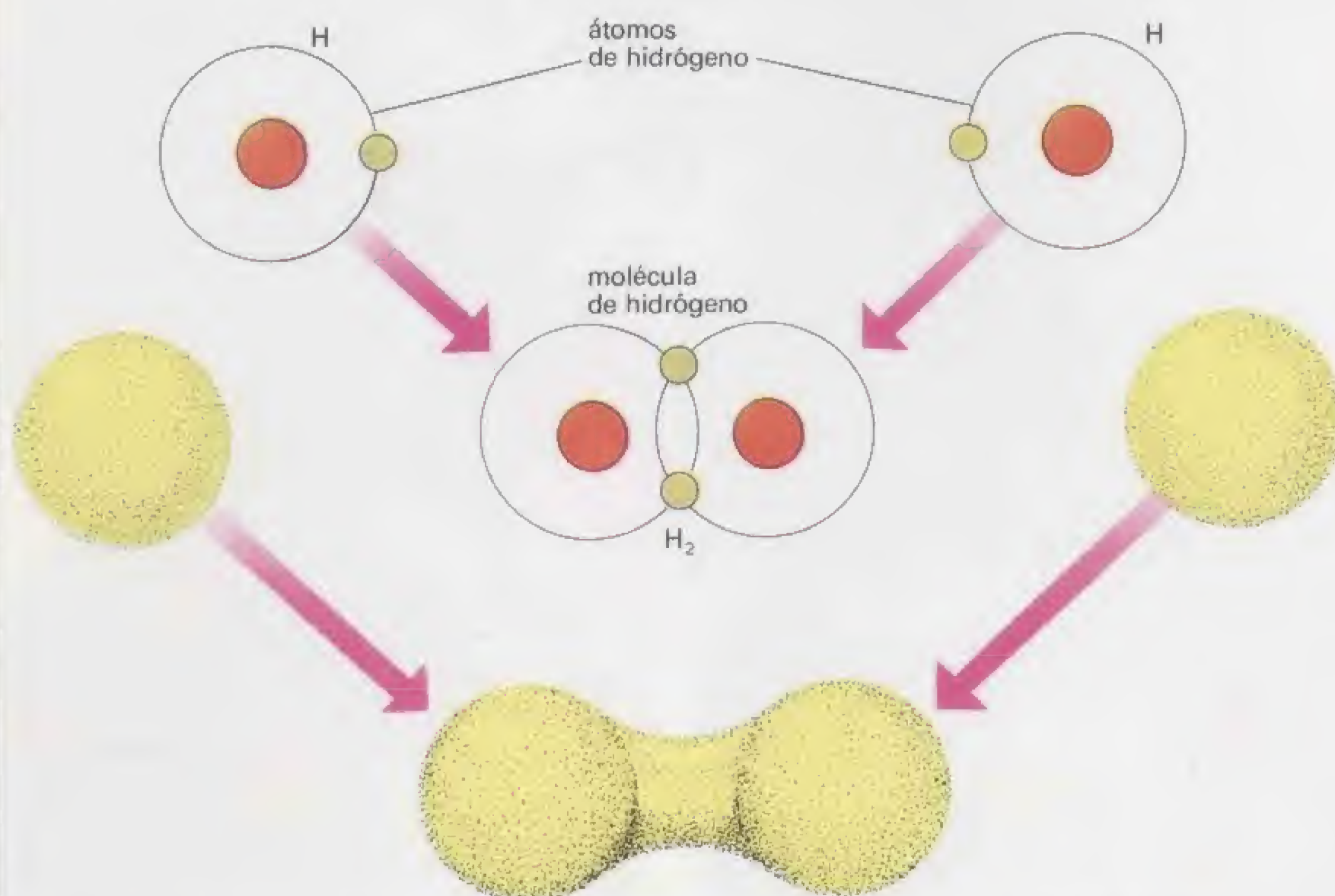
En las moléculas más complejas, la estructura se hace tridimensional y es representada por pirámides, octaedros, cubos, cadenas, tetraedros, anillos o disposiciones geométricas aún más complejas, a las que se dan nombres como *estructura en corona*, *en jaula*, *en rueda*, *en pelota*, *en cesto*, etcétera.

Existen millones de posibles configuraciones moleculares. En algunos casos, existen moléculas constituidas por el mismo tipo de átomos dispuestos en igual número y proporción, que sin embargo manifiestan comportamientos diferentes. Estas moléculas de igual composición química pero de distinta estructura son llamadas *isómeras*. Es frecuente hallarlas entre las moléculas que contienen átomos de carbono. Dado que el carbono se encuen-

tra en todas las plantas y animales, las moléculas que forman el mundo vivo son llamadas *compuestos orgánicos*. Las moléculas que no se encuentran normalmente en tejidos vivos y que no contienen carbono forman el conjunto de los *compuestos inorgánicos*.

Fuerzas intermoleculares Los enlaces químicos que unen los átomos formando moléculas son muy fuertes, y se rompen sólo en las reacciones químicas o mediante la aplicación de calor o presión.

Existen también enlaces de carácter más débil que se establecen entre las moléculas. Estos vienen determinados por las fuerzas llamadas *intermoleculares* o de *Van der Waals*. Dichas fuerzas son en general de tipo electrostático y se hacen preponderantes al disminuir la temperatura. Son responsables de gran parte de los fenómenos que suceden en el interior de las células. Las fuerzas de Van der Waals se originan de la forma que vamos a exponer. Aunque la carga neta o resultante de las moléculas es nula, es decir, éstas poseen el mismo número de cargas positivas y negativas, con frecuencia las moléculas están polarizadas debido al desplazamiento de los electrones hacia los átomos más electronegativos. Cuando esto sucede, en la molécula hay un centro de carga positiva y otro de carga negativa, separados ambos por cierta distancia: se ha formado un *dipolo eléctrico*. Cada molécula es entonces un dipolo eléctrico que se orientará respecto a las vecinas siguiendo las leyes de la Electrostática. Las moléculas formadas por dos átomos del mismo elemento son no polares, mientras que las moléculas formadas por átomos distintos pueden

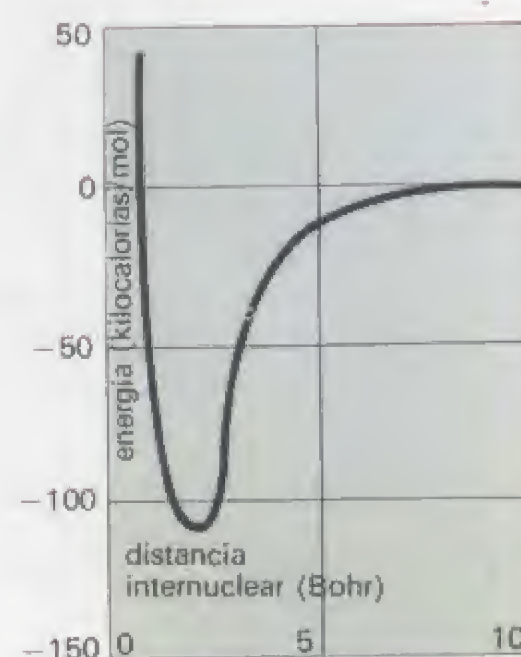


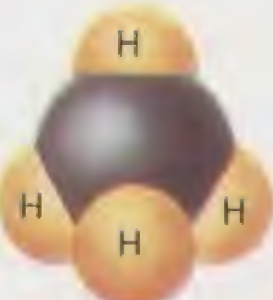
Cuando se unen dos átomos para formar una molécula compartiendo dos electrones, se produce un enlace covalente.

Esto ocurre, por ejemplo, cuando dos átomos de hidrógeno se acercan a una distancia lo suficientemente

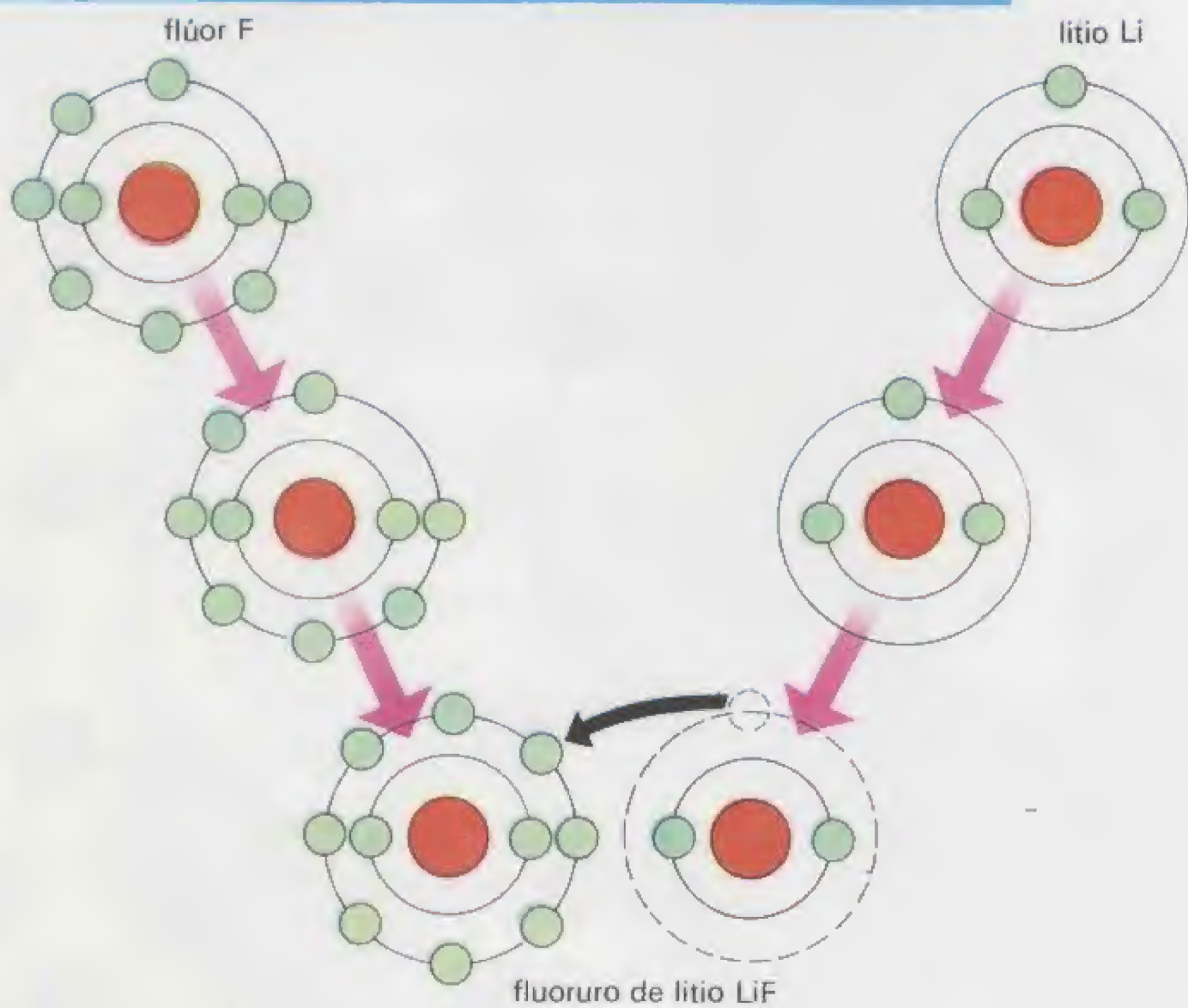
pequeña como para poder poner en común sus electrones. Sobre estas líneas se ve primero (arriba) la representación

del átomo y de la molécula de hidrógeno según el modelo orbital, y después (más abajo), según la densidad electrónica.



	<p>Cuando dos cargas iguales pero de signo opuesto $+q$ y $-q$ se encuentran separadas por una distancia de 1 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$), su momento dipolar equivale a $\mu = q \cdot l$. El momento dipolar se mide en debye.</p>		
MOLECULA	DISTRIBUCION DE LA CARGA	MOMENTO DIPOLAR	
		<p>metano momento dipolar = 0,0 debye</p>	
		<p>agua momento dipolar = 1,85 debye</p>	
		<p>ácido fluorhídrico momento dipolar = 1,82 debye</p>	
		<p>fluoruro de litio momento dipolar = 6,33 debye</p>	

Se puede utilizar el ordenador para visualizar la formación de moléculas diatómicas, ordenando secuencias de diagramas de densidad electrónica que corresponden a copias de átomos que se acercan gradualmente. En la página anterior, a la derecha, reconstrucción por ordenador de las modificaciones de la densidad electrónica de dos átomos de hidrógeno mientras se forma la molécula. En la misma página, abajo, el gráfico muestra las variaciones de energía que se producen en el sistema. El equilibrio de la molécula sucede cuando la energía potencial es mínima. A la derecha de estas líneas, representación obtenida mediante ordenador de las variaciones de densidad electrónica de dos átomos de litio y flúor y de la molécula resultante obtenida. En este caso, los dos átomos están muy distorsionados. Debajo, el gráfico que representa las variaciones de la energía total del sistema.

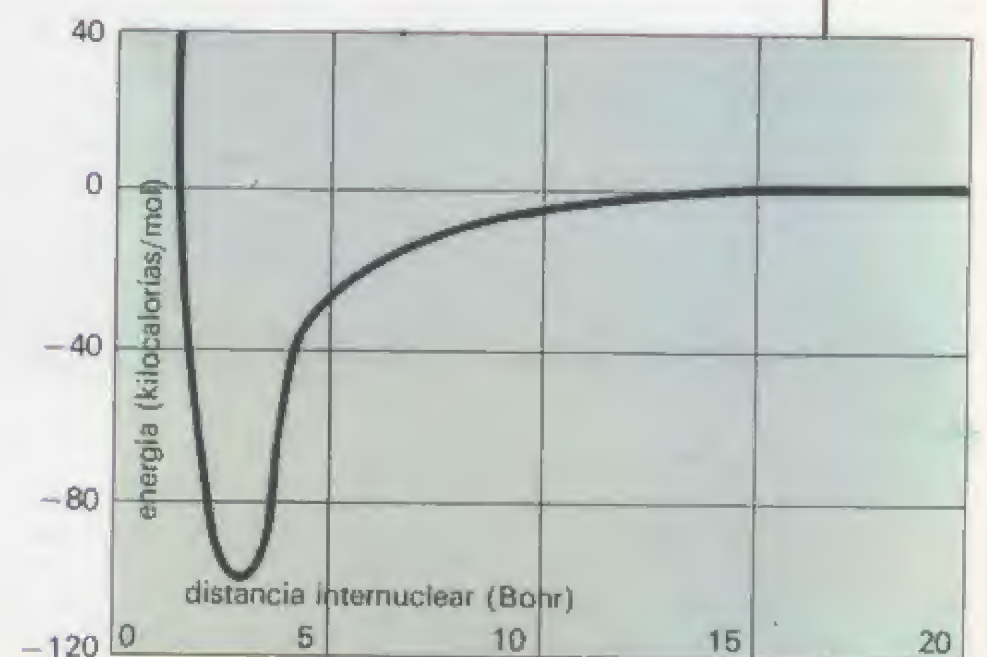


Los átomos que forman una molécula están unidos por un enlace iónico cuando uno o más electrones de valencia son

transferidos al nivel más externo del otro átomo. Esto sucede, por ejemplo, en el fluoruro de litio (LiF). En una misma

molécula pueden coexistir tanto el enlace iónico como el covalente. Por ejemplo, el enlace del fluoruro de litio a temperaturas

superiores a 1.676°C es iónico en un 87% y covalente en un 13%. A temperatura ambiente, ese enlace es iónico al 100%.



estar polarizadas. La medida del desplazamiento eléctrico en una molécula polar es llamada *momento dipolar*, cuyo valor aumenta con la carga del dipolo y con la distancia entre los centros de carga.

Esta fuerza atractiva de carácter eléctrico entre las moléculas es mayor cuando la temperatura ambiental es baja y las moléculas no son muy móviles. Cuando aumenta la temperatura, las moléculas se mueven rápidamente y la atracción electrostática se encuentra considerablemente disminuida.

La "danza" molecular Ninguna de las distintas partes de un átomo se encuentra nunca en reposo, así como jamás está quieto ninguno de los átomos de una molécula. Los átomos vibran y giran en torno a su "punto de equilibrio" (al alcanzarse un estado de equilibrio momentáneo). En una molécula diatómica los enlaces que mantienen unidos los dos átomos se alargan y se contraen continuamente, con una oscilación de amplitud cercana al 10% de la longitud total del enlace. En una molécula triatómica, los enlaces pueden extender-

se o moverse asimétricamente, de modo que un enlace se tensa mientras que los otros se contraen; un enlace lineal puede también doblarse formando ángulos, que se abren y se cierran como si se tratara de tijeras.

En las moléculas complejas, un grupo de átomos que se doblan en una dirección puede unirse a otro grupo de átomos que se doblan en otra dirección. Cuando dos grupos de átomos en el interior de la misma molécula vibran independientemente, el movimiento "en tijera" se acompaña de agitaciones, torsiones y balanceos.

En las moléculas en anillo, diversas secciones del anillo pueden vibrar con ritmos distintos, por lo que las moléculas parecen "respirar". En estado gaseoso las moléculas distan entre sí más de 10 veces su diámetro. Dependiendo de la temperatura y de la masa molecular, alcanzan velocidades de traslación muy considerables. Para los gases del aire, la velocidad es del orden de 300 metros/segundo.

A temperatura ambiente, las moléculas de un gas vibran muy rápidamente (a cerca de 10^{13} veces por segundo). Al bajar

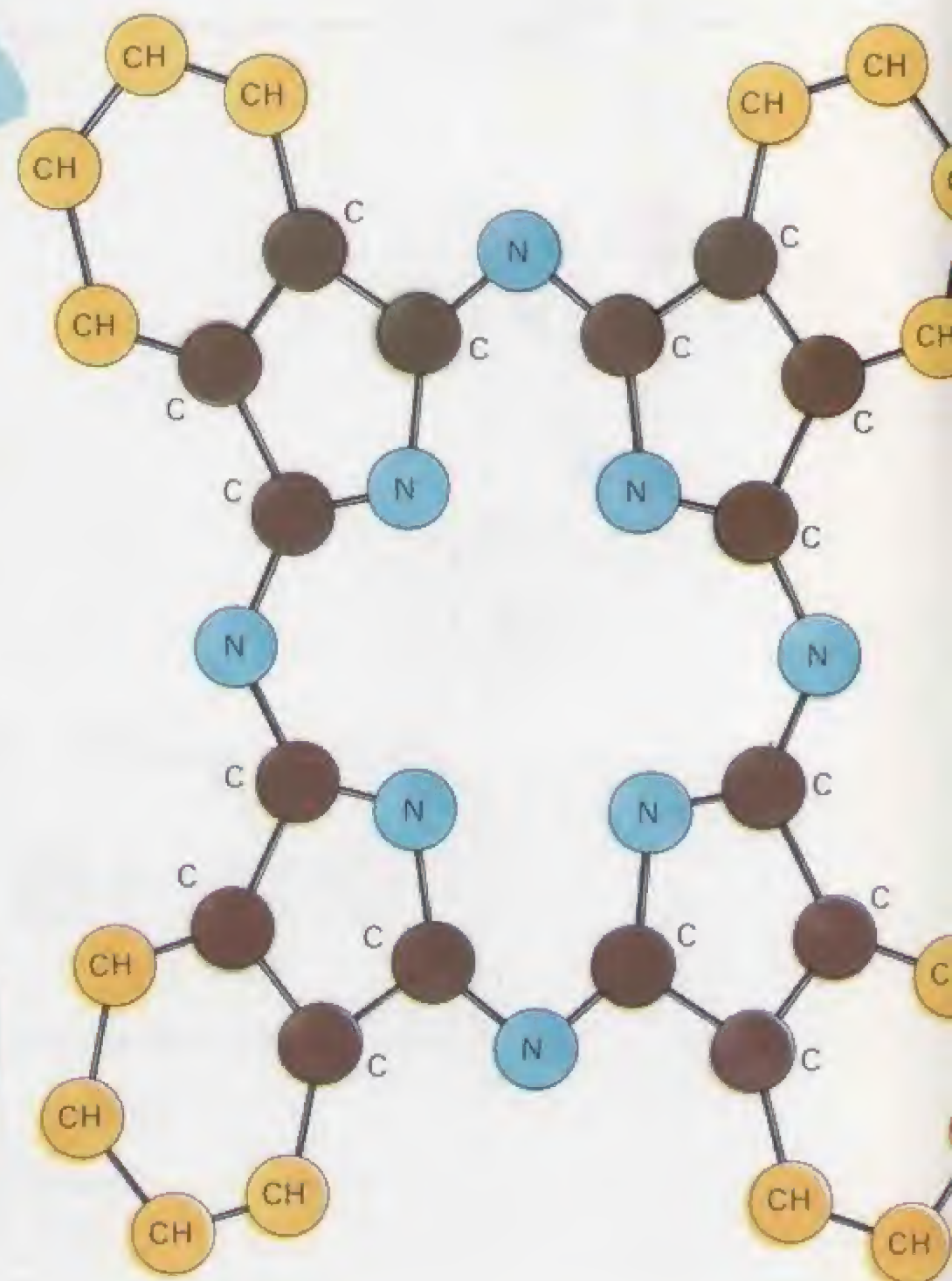
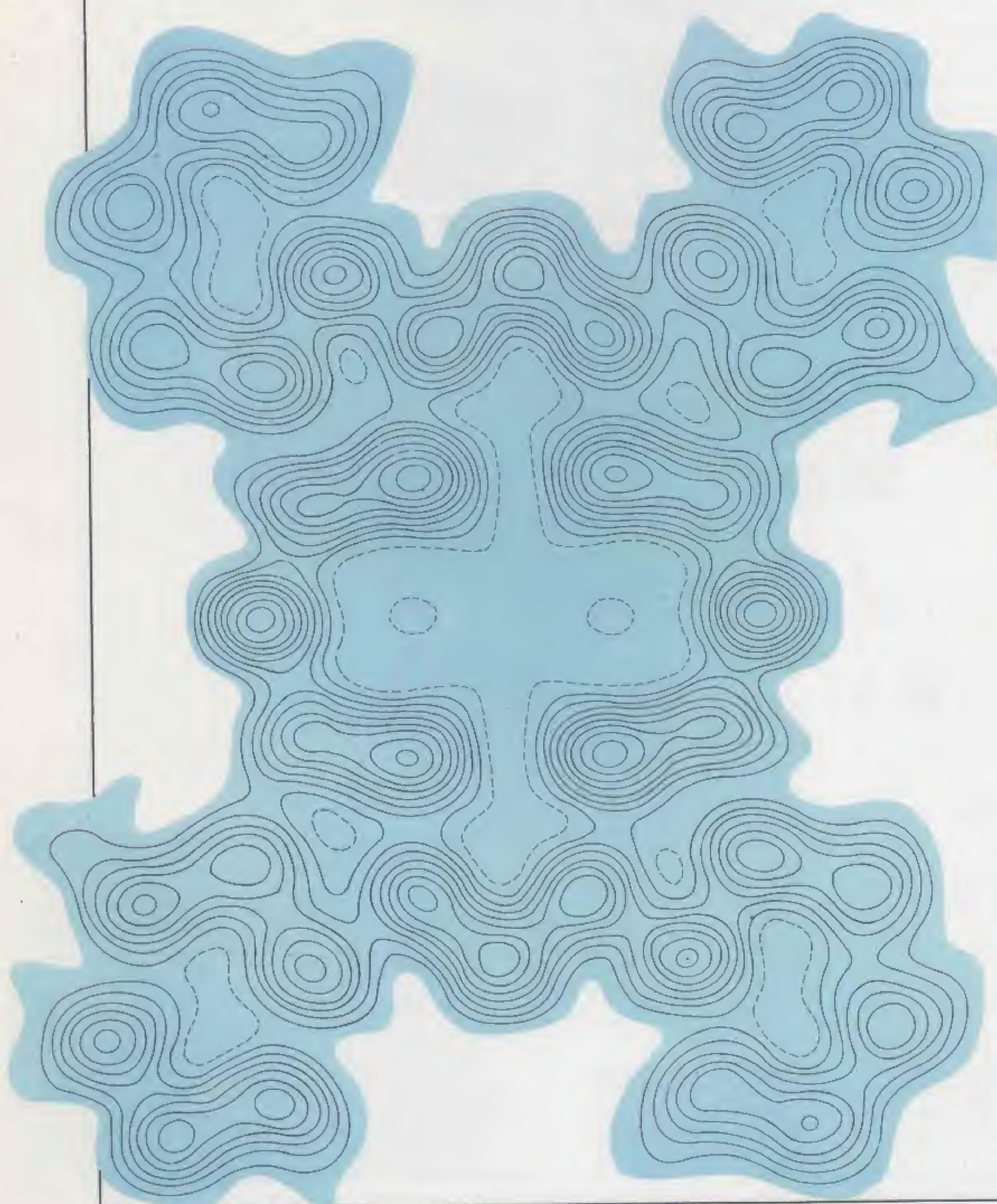
la temperatura y licuarse el gas, las moléculas se "comportan" según el estado líquido y vibran más rápidamente, a una velocidad diez veces superior a la de colisión.

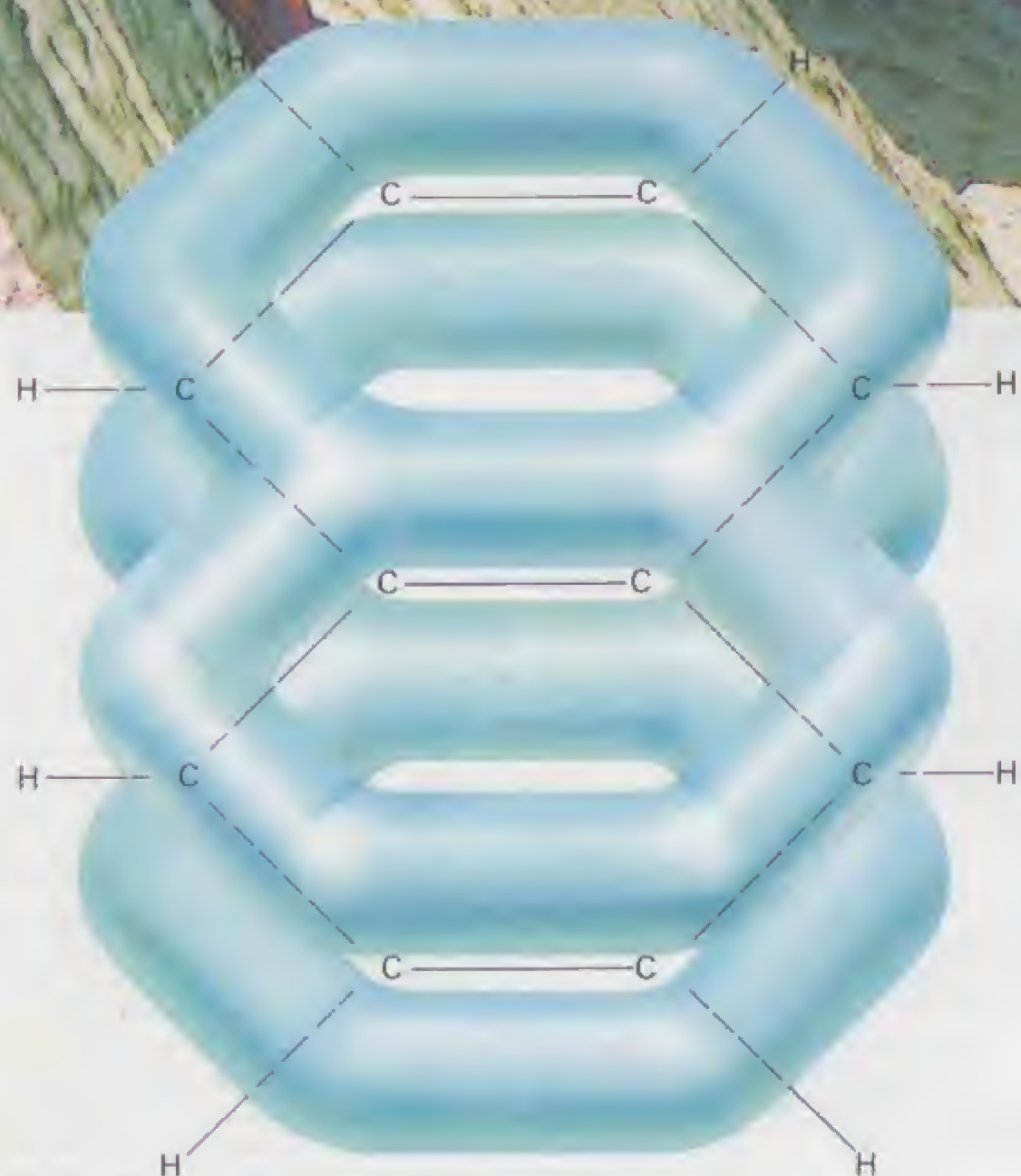
En el estado sólido, las moléculas se encuentran situadas tan cerca las unas de las otras que en vez de "danzar" se limitan a oscilar alrededor de una posición fija.

Rotación de las moléculas Mientras están vibrando, las moléculas están a la vez en rotación alrededor de su centro de inercia a una frecuencia de 10^{11} veces por segundo (diez veces superior a la velocidad de las colisiones en el estado gaseoso). De esta manera, las dimensiones de una molécula sólo pueden describirse como la media de las posiciones de los átomos de la molécula a lo largo del tiempo. La rotación alrededor de un enlace químico simple es absolutamente libre. Los dos átomos de carbono de una molécula de etano (CH_3-CH_3) pueden rotar 360° alrededor de su eje internuclear. El movimiento se vuelve más complicado en moléculas de más de dos átomos, puesto

Para observar las grandes moléculas se utiliza el análisis por rayos X. De esta forma se consigue construir un mapa de densidad (a la izquierda, el de la ftalocianina), del que se obtiene el modelo atómico. Los mapas de densidad se

construyen sobre la base de considerar las moléculas no como grupos de átomos aislados, sino como una distribución continua (aunque no homogénea) de electrones capaces de difundir los rayos X.





El microscopio electrónico permite observar la microestructura de las sustancias, pero no tiene el suficiente poder resolutivo como para permitir localizar los átomos en una molécula. Arriba, fotografiada con microscopio electrónico, naftalina en una disolución bencénica: las superficies monocristalinas presentan formaciones rugosas en cada área distinta. A la izquierda, la fórmula de la naftalina ($C_{10}H_8$), evidenciando las dos estructuras superpuestas en forma de ocho: son los orbitales π desplazados de los dos anillos bencénicos.

que un extremo de la molécula choca frecuentemente contra la otra extremidad, rotando alrededor del eje de enlace. Esto tiene por efecto el limitar la rotación alrededor del enlace.

La "danza" incesante de las moléculas en su rotación y vibración alrededor de sus ejes modifica continuamente su estructura. No estaba equivocado, pues, el filósofo griego Heráclito al afirmar que "todo fluye". Una molécula consiste en una disposición de átomos, en una organización de distintas partes para formar un todo que difiere de cada una de las partes. Los científicos han tardado muchos siglos en demostrar que Heráclito tenía su parte de razón.

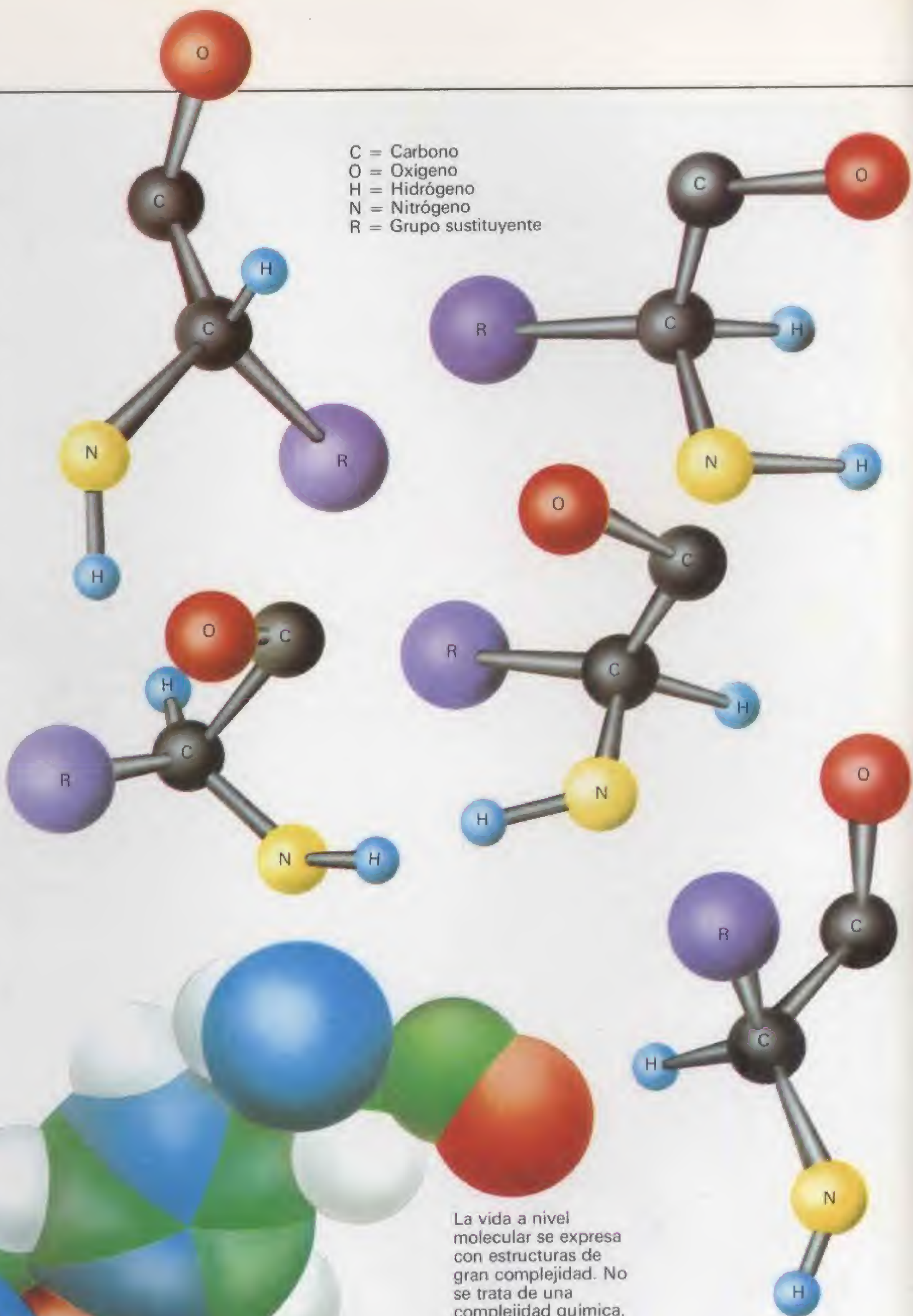
Véase Átomo; Enlace químico y valencia; Molécula compleja; Moléculas espaciales; Química; Reacción química

Molécula compleja

Uno de los más grandes acontecimientos científicos del siglo XX ha sido, sin duda, el descubrimiento del hecho de que existen moléculas formadas por decenas de millares de átomos y con complicadas estructuras. Tales moléculas complejas, conocidas técnicamente también como *macromoléculas*, son comunes en los sistemas orgánicos y raramente se logran encontrar fuera de los seres vivos. Unas de las moléculas complejas más importantes son las proteínas —constituyentes esenciales de nuestro organismo—. Ya en el siglo XX, cuando los científicos empezaron a comprender en qué forma estaban ligados los átomos en una molécula sencilla, la idea de que las proteínas pudieran ser moléculas estables no se podía explicar de forma general. Los investigadores, que se estaban esmerando en descubrir, por ejemplo, el benceno, constituido por seis átomos de carbono ensamblados en un anillo, veían con dificultad el aceptar como hipótesis que estos anillos bencénicos pudieran ser a su vez partes diminutas de una estructura muchísimo más compleja.

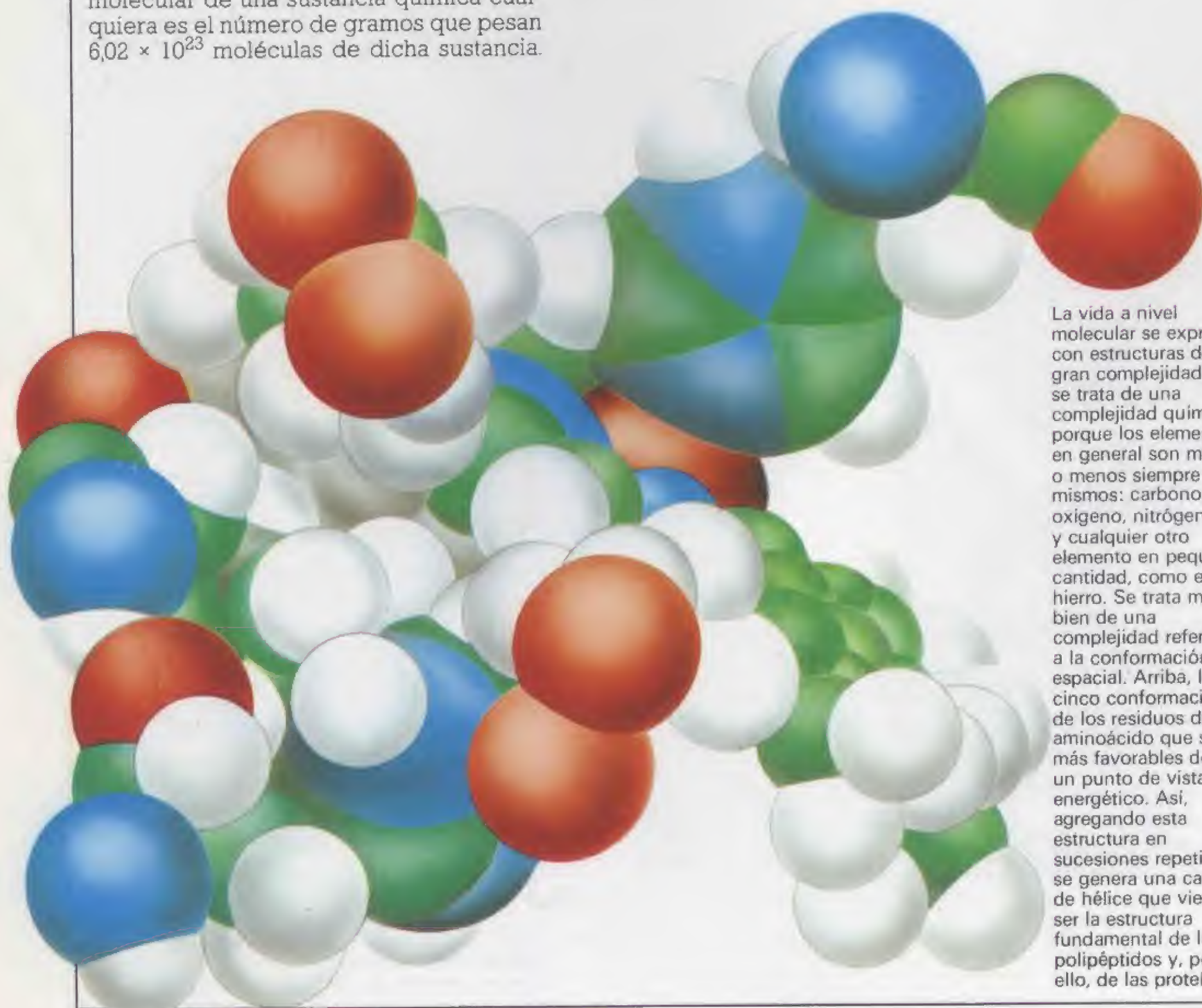
Peso molecular Uno de los primeros indicios que apuntaron la existencia de las macromoléculas fue la determinación del peso molecular de una proteína tetramérica, la hemoglobina, cuya función es la de transportar el oxígeno en la sangre. El peso molecular de una sustancia química cualquiera es el número de gramos que pesan $6,02 \times 10^{23}$ moléculas de dicha sustancia.

C = Carbono
O = Oxígeno
H = Hidrógeno
N = Nitrógeno
R = Grupo sustituyente



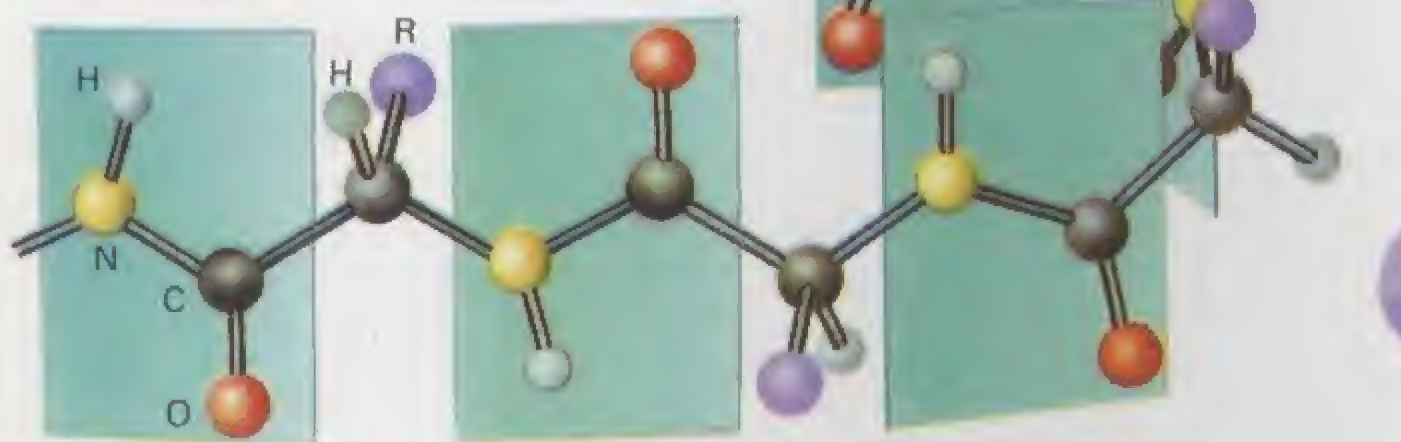
La vida a nivel molecular se expresa con estructuras de gran complejidad. No se trata de una complejidad química, porque los elementos en general son más o menos siempre los mismos: carbono, oxígeno, nitrógeno y cualquier otro elemento en pequeña cantidad, como es el hierro. Se trata más bien de una complejidad referida a la conformación espacial. Arriba, las cinco conformaciones de los residuos de un aminoácido que son más favorables desde un punto de vista energético. Así, agregando esta estructura en sucesiones repetitivas, se genera una cadena de hélice que viene a ser la estructura fundamental de los polipéptidos y, por ello, de las proteínas.

A la izquierda se ilustra la porción central de la hemoglobina, una de las proteínas más importantes presente en toda la vida animal. El dibujo muestra el grupo *hemo*, que es el centro activo de la molécula, y cuya característica principal es la de poseer un átomo de hierro en su centro. El grupo *hemo* es el anillo plano que se entrelaza en el centro de la estructura y que se prolonga en diagonal hacia la derecha; alrededor se ven tres de los dieciséis residuos aminoácidos de la hemoglobina en contacto con el grupo *hemo*.



Esta figura representa una forma de estructura en alfa hélice, que es la configuración espacial más sencilla que se puede encontrar dentro de las moléculas complejas de cierta importancia biológica. Los rectángulos que se han marcado tratan de mostrar la rotación de los residuos aminoácidos en la formación de la cadena. Los análisis biofísicos demuestran que existen 3,6 residuos aminoácidos por cada vuelta de hélice. Por

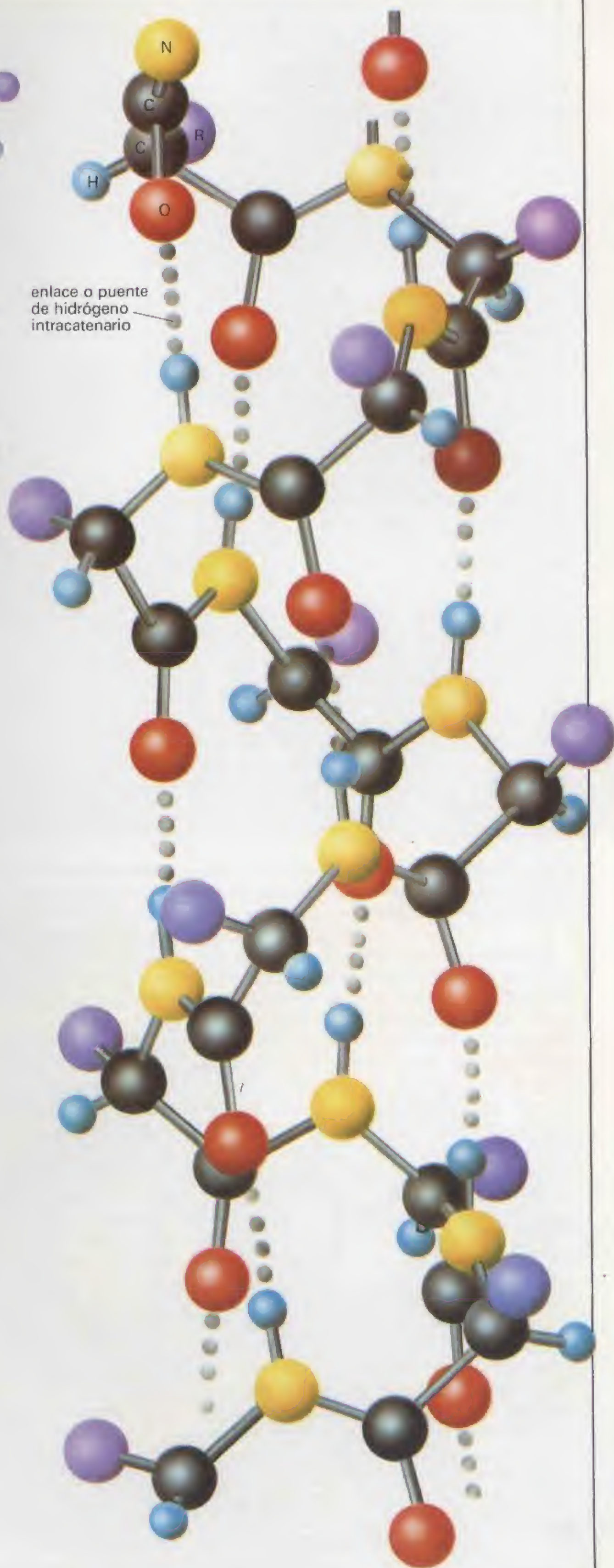
cada residuo único aminoácido la hélice se eleva 0,15 nanómetros, o lo que es igual, 0,15 multiplicado por 10^{-9} metros.



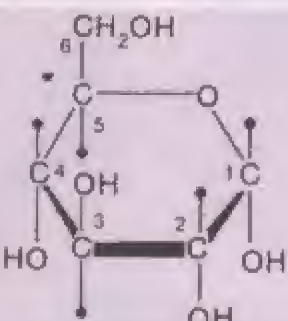
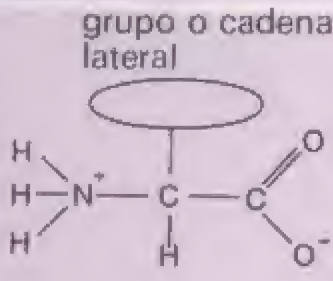
(Este número se conoce también como *número de Avogadro* y es extremadamente importante en Química, siendo una unidad de medida estándar). El peso molecular, por ejemplo, de un átomo de carbono normal es 12, el del hidrógeno y el del oxígeno son respectivamente 1 y 16. El peso molecular del azúcar común o sacarosa, cuya fórmula empírica es $(C_{12}H_{22}O_{11})$ [O-β-D~galactopiranosil~(1→4)~β-D~piranosido], es 342, y estaba considerado como muy elevado en pleno siglo XIX. Es fácil comprender actualmente por qué en el año 1885 los científicos no dieron crédito a los estudios de un bioquímico suizo que analizó la hemoglobina, determinando su fórmula química: $C_{712}H_{1130}N_{214}O_{245}S_2Fe$, lo que permitía ya por entonces deducir su peso molecular: 16.730. Pero, en cierto modo, los científicos tenían razón en no dar crédito a dicha determinación. El bioquímico suizo O. Zinoffsky se había equivocado: su estimación resultaba excesivamente baja.

Por fin, la evidencia se fue haciendo patente. Poco a poco, los investigadores de toda Europa fueron acercándose cada vez más en las medidas de los pesos moleculares de las moléculas complejas. El valor buscado para la hemoglobina se obtuvo gracias a que, en 1924, el químico Gilbert Adair pudo demostrar que la cifra correcta era cercana a 67.000, cantidad un tanto discordante frente a la que suministraron otros científicos. Desafortunadamente, el concepto de "molécula compleja" es instintivamente difícil de comprender. Para las moléculas más pequeñas, los investigadores podían obtener sus estructuras deduciéndolas a través de los posibles enlaces que se pudiesen establecer entre los átomos de cada molécula. Fue precisamente de este modo como se descubrió la estructura del benceno. En cuanto a las

El dibujo de la derecha muestra la reconstrucción de una hélice. Véase la estructura esquelética fundamental, constituida por una sucesión de enlaces carbono-nitrógeno C-N y carbono-carbono C-C. Alrededor de este enlace se compone la cadena, teniendo presente que el enlace C-N es de tipo covalente y por consiguiente rígido, lo que imposibilita su rotación y evita el giro libre. Ello limita y define el número y la conformación espacial de la cadena. Otra particularidad es la presencia de los enlaces o puentes de hidrógeno, indicados en la figura mediante puntos grises. Los enlaces de hidrógeno se forman entre los enrollamientos sucesivos de la hélice y se extienden entre un átomo de hidrógeno, próximo al átomo de nitrógeno de un enlace peptídico C-N, y el átomo de oxígeno del grupo carbonílico CO, perteneciente a un residuo aminoácido, precisamente el tercero subsiguiente al lugar del enlace. El átomo de hidrógeno se ha dibujado en azul, el de nitrógeno en amarillo y el de oxígeno en rojo. Los residuos aminoácidos, esferas moradas, se extienden lateralmente al influir respecto del esqueleto central.



ORGANIZACION ESTRUCTURAL DE ALGUNAS IMPORTANTES MACROMOLECULAS BIOLOGICAS

Macromolécula	Unidad monomérica	Número de los diferentes monómeros	Fórmula general del monómero	Longitud fija o irregular de la cadena	Enlace entre los monómeros
Glucógeno (un polisacárido)	Glucosa	Uno		Indefinida-quiza >1.000	Enlace 1-4 glucosídico $\begin{array}{c} \text{C} - \text{O} - \text{C} \\ \qquad \qquad \\ 1 \qquad \qquad 4 \end{array}$
ADN (ácido desoxirribonucleico)	Desoxirribonucleótidos	Cuatro: desoxiadenilato, desoxiguanilato, desoxitimidilato, desoxicitidilato	Purin-desoxirribosa-P (o pirimidin-desoxirribosa-P)	Fijada genéticamente, quizá >10 ⁷	Enlace 3'-5'-fosfodiester $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{C}- \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \\ 3' \qquad \qquad \text{O}^- \qquad \qquad 5' \end{array}$
ARN (ácido ribonucleico)	Ribonucleótidos	Cuatro: adenilato, guanilato, uridilato, citidilato	Purin-ribosa-P (o pirimidin-ribosa-P)	Fijada genéticamente frecuente >3.000	Enlace 3'-5'-fosfodiester
Proteínas	L-Aminoácidos	Veinte: glicina, alanina, serina, etc.	grupo o cadena lateral 	Fijada genéticamente, en general varía de 100 a 1.000	Enlace peptídico $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{N}-\text{C}- \\ \\ \text{O} \end{array}$

macromoléculas, serían necesarios otros métodos distintos para el establecimiento de la estructura general.

Cristalografía de rayos X El más importante de esos métodos es el de la *cristalografía de rayos X*. Los rayos X son unos rayos extremadamente energéticos; los cristales son disposiciones regulares y ordenadoras de las moléculas. Cuando se hace incidir rayos X en un cristal, los átomos de las moléculas hacen que se desvíen los rayos de luz en función de la disposición que ocupan los átomos en los cristales. Si se coloca una placa fotográfica (o mejor, una placa radiográfica) delante de los rayos X dispersados, se obtiene una disposición regular de la mancha. El dibujo así formado puede relacionarse matemáticamente con una disposición específica de los átomos dentro del cristal.

Una segunda prueba, tan importante como la primera, que viene a confirmar el hecho de que las macromoléculas existen en forma estable —y que no eran sencillamente unas asociaciones momentáneas del elemento más pequeño—, se llevó a cabo a principios de siglo, en base al descubrimiento que puso de manifiesto que las proteínas se podían cristalizar. Estos cristales servirían para su estudio mediante la técnica de la cristalografía de rayos X. En efecto, en 1934 un joven científico

viene llamado Max Perutz, que trabajaba en Inglaterra, aplicó eficazmente esta técnica en el estudio de la hemoglobina y observó que esta molécula compleja producía tal número de manchas de difracción que resultaba prácticamente imposible deducir su estructura.

Hélices En esas mismas fechas, el físico-químico estadounidense Linus Pauling estaba elaborando una teoría sobre el enlace entre los átomos constituyentes de una molécula. Esto permitió realizar lo que por analogía sería una "gramática" de la estructura molecular, en la que se destaca que únicamente algunos tipos de disposiciones son utilizables para la formación de una molécula. Una de las más importantes de estas disposiciones es la que hoy día llamamos *alfa hélice* o también *hélice α*, y que se dio a conocer en el mundo en 1951. Perutz no tardó en comprobar que la hemoglobina contenía en su estructura partes de hélice α, y que ciertas partes de la molécula llevaban una disposición parecida, en su secuencia, a la de una escalera de caracol, ya predicha por Pauling.

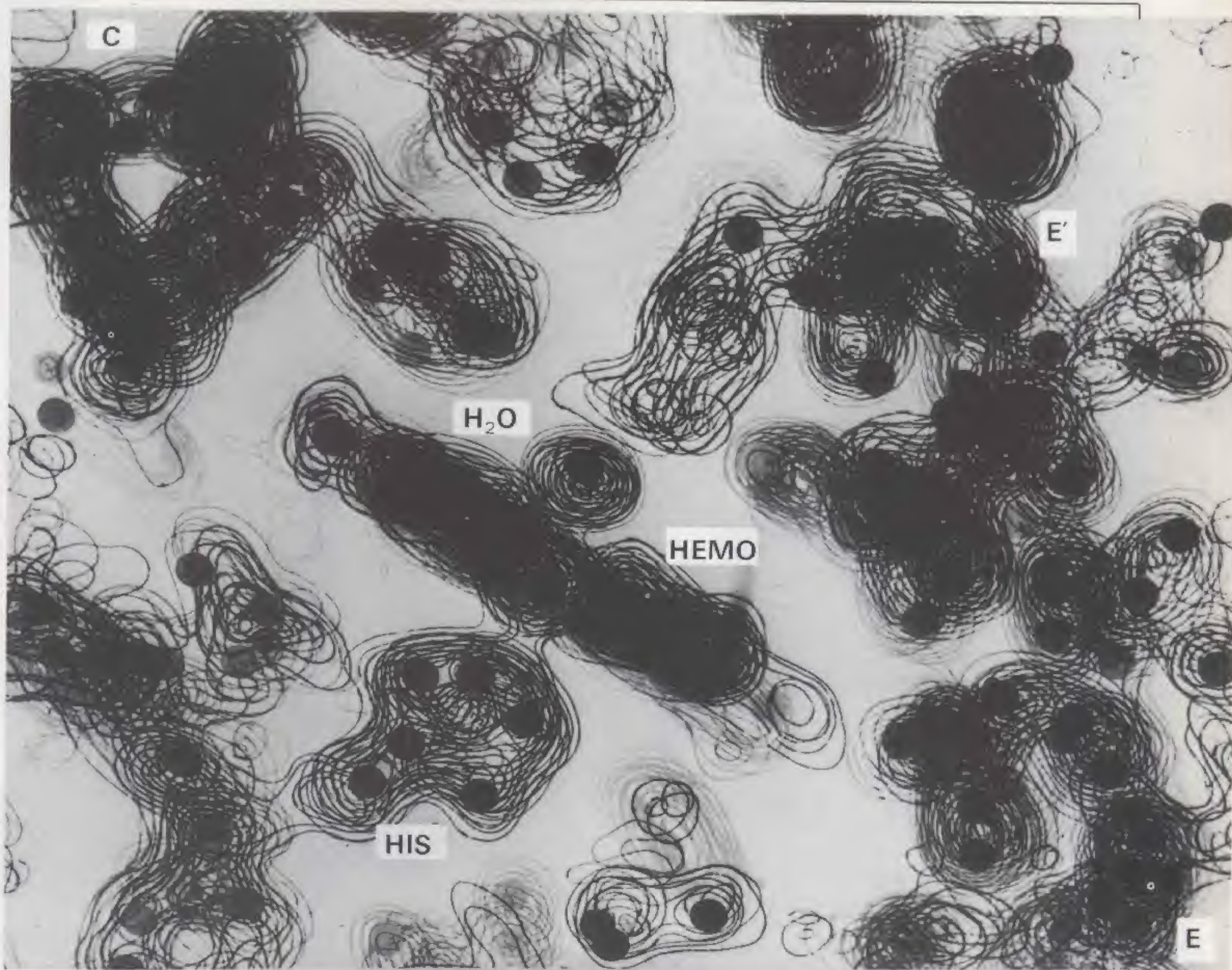
En 1953 se demostró que la estructura de la molécula del ácido desoxirribonucleico (ADN) constituía una variante de la hélice de Pauling: era una hélice doble que se asimilaba a una escalera de caracol doble enrollándose una en la otra.

Las proteínas son, la mayor parte, bastante más complejas que el ADN. Se puede conocer su estructura mediante el uso de una técnica que se ha dado en llamar *método del átomo pesado*. Esta técnica es conceptualmente sencilla; sin embargo, en la práctica es de difícil aplicación. En líneas generales, la técnica se basa en la sustitución de un átomo pesado, como el yodo, mercurio u oro, en el interior de la molécula. Los átomos más pesados desvían mucho más los rayos X, lo que da lugar a la formación de unas manchas más brillantes en la placa radiográfica. Repitiendo este procedimiento varias veces, se obtiene un conjunto de puntos fijos de los cuales se puede deducir el resto de la estructura.

Hacia el final de los años cincuenta; haciendo uso del ordenador más potente disponible entonces, los científicos lograron establecer ya la estructura preliminar de las primeras proteínas, tales como la hemoglobina y mioglobina, principales transportadoras de oxígeno en los tejidos.

Estructura y funciones A medida que se iban descubriendo paso a paso las estructuras de las moléculas complejas, los científicos iniciaron el examen de sus funciones propias. Perutz descubrió, por ejemplo, que la estructura de la hemoglobina le permitía unirse a los átomos de oxí-

La tabla de la página anterior resume algunas características estructurales de moléculas de elevada relevancia biológica: están indicadas las unidades monoméricas fundamentales, los eventuales diferentes tipos, la fórmula general y la longitud de la cadena molecular; finalmente, el enlace que sirve de unión a los distintos monómeros. Aquí, a la derecha, se puede observar un mapa de densidad electrónica llamado *isodensímetro*, pues todos los puntos contenidos en una línea continua tienen la misma densidad electrónica, lo que permite determinar las partes de la molécula; en la foto vemos el de la mioglobina. Se destaca en el centro, de perfil y en diagonal, el grupo *hemo* y, justo debajo de éste, un residuo aminoacídico de histidina. Más arriba y a la izquierda, aparece una hélice α visionada en sentido axial. Los mapas de este tipo requieren a continuación unos análisis laboriosos de las figuras de difracción obtenidas mediante los rayos X. Las densidades electrónicas más



geno como los brazos de una mordaza; posteriormente, la molécula transporta en la sangre el oxígeno para que éste sea utilizado.

La comprensión de esta relación venía a poner la última palabra en la controversia de que las moléculas complejas fueran estables o de que existiesen en una forma de "equilibrio dinámico" (condición en la que los componentes permanecen constantemente ensamblándose y desligándose). Se llegó a pensar, nada menos, que este flujo incesante podía ser una fuente de vida, o que en él pudiera encontrarse algo así como el secreto de la vida. En la actualidad, algunos científicos piensan que parte de la fuerte influencia ejercida por esta idea del equilibrio dinámico es fruto de la reticencia de los biólogos a enfrentarse con el hecho de que los mecanismos de la vida son sencillamente eso, mecanismos, y que se pueden, por lo tanto, conocer.

En nuestros días, los investigadores están descubriendo la estructura de muchos millares de proteínas constituyentes de los seres vivos.

Los estudios sobre estas proteínas han enriquecido con nuevos datos el funcionamiento en áreas específicas de la Genética. Las macromoléculas han adquirido también gran importancia en el campo de la industria, y la aplicación de las molécu-

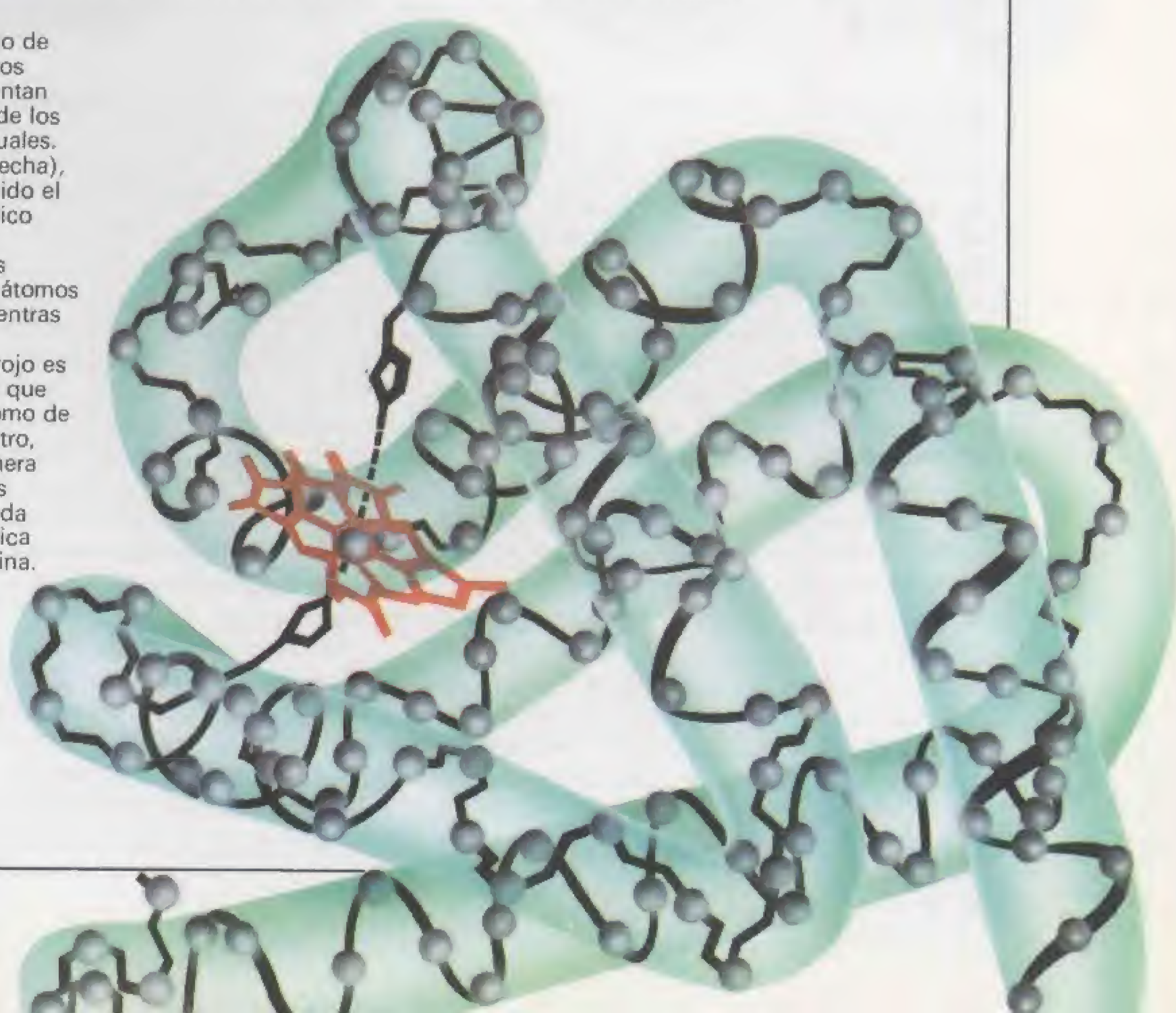
las complejas en la fabricación de la goma, los barnices, el papel, los adhesivos y los plásticos se ha generalizado.

Es una afirmación notable del progreso científico el hecho de que hoy las industrias fabriquen compuestos a base de mo-

léculas tan grandes e importantes que hace unos cincuenta años la mayor parte de los científicos no hubiera podido imaginar que existieran.

Véase **Molécula; Proteínas**

→ oscuras, a modo de pequeños puntos negros, representan las posiciones de los átomos individuales. Abajo (a la derecha), se ha reconstruido el esqueleto químico principal de la mioglobina. Las esferas son los átomos de carbono, mientras que la figura geométrica en rojo es un grupo *hemo* que contiene un átomo de hierro en el centro, de idéntica manera a como veíamos dispuesto en cada unidad tetramérica de la hemoglobina.

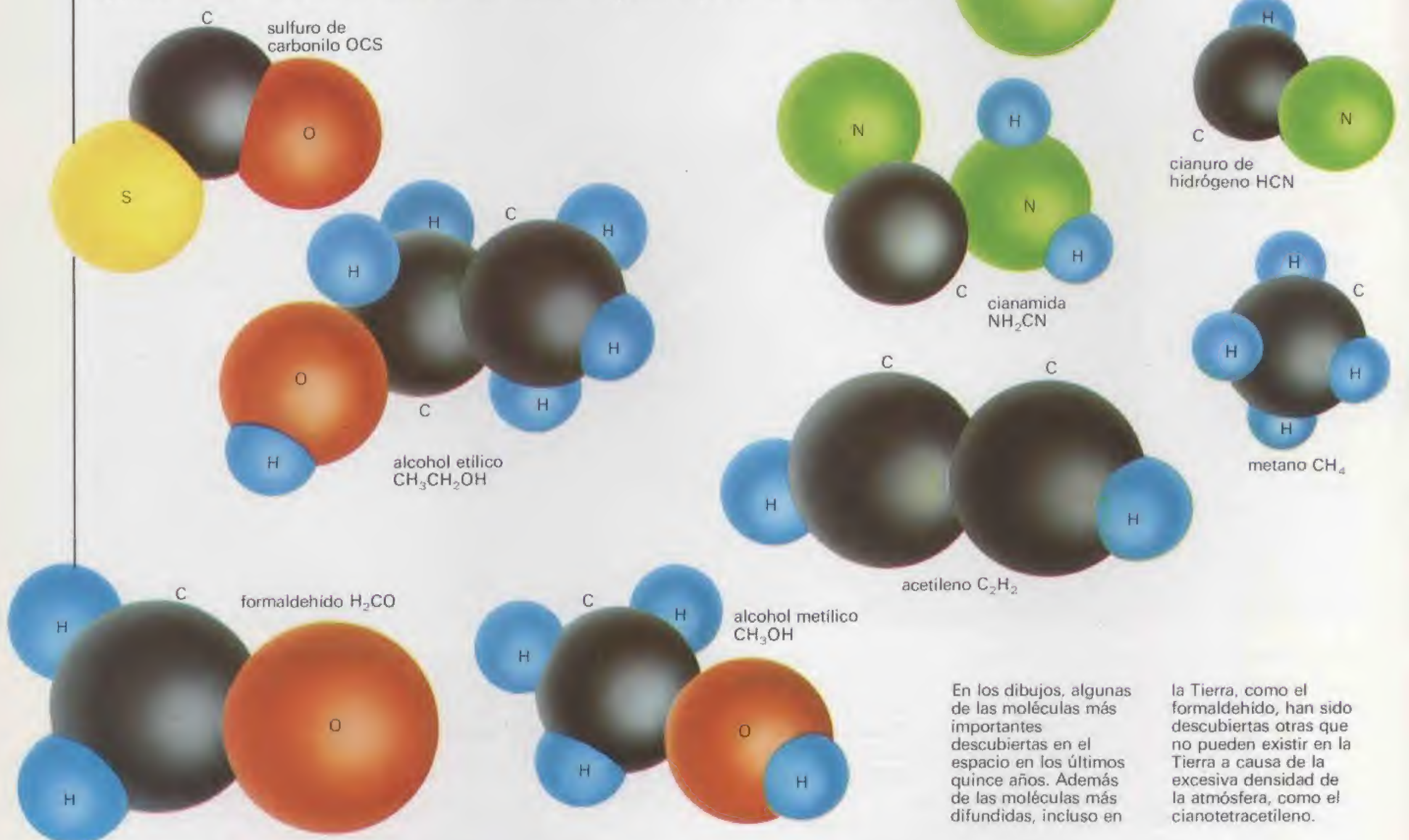


Moléculas espaciales

Los espacios interestelares contienen un número de moléculas de vodka (alcohol etílico $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) que podría llenar un volumen equivalente a más de 10.000 veces el de la Tierra. Pero aquellos viajeros interplanetarios que intentaran preparar un cóctel a partir de esta enorme cantidad de alcohol etílico deberían saber que este vodka presente en los espacios interestelares se encuentra diluido en vapor de agua en concentraciones equivalentes a 0,002 grados. Además, se

perior a la de las emisiones luminosas) que son recibidas mediante las enormes antenas parabólicas de los radiotelescopios. Cada vez que una molécula situada en el espacio vibra o gira, emite un impulso de radio que puede ser captado acústicamente en la Tierra. Cada molécula presenta una frecuencia particular de impulsos, lo cual permite identificarla entre las demás.

Las moléculas presentes en el espacio están compuestas por átomos de oxígeno,



En los dibujos, algunas de las moléculas más importantes descubiertas en el espacio en los últimos quince años. Además de las moléculas más difundidas, incluso en

la Tierra, como el formaldehído, han sido descubiertas otras que no pueden existir en la Tierra a causa de la excesiva densidad de la atmósfera, como el cianotetracetileno.

halla mezclado con sustancias venenosas como el ácido cianhídrico. En realidad, el alcohol etílico no es más que una de las 53 clases de moléculas de gas descubiertas en estos últimos doce años en el llamado "vacío" interestelar.

A partir de los años veinte, los astrónomos empezaron a pensar que existían átomos de hidrógeno y de helio en los espacios astrales, condensándose en forma de nubes atómicas. Pero fue a partir de los años sesenta, con el desarrollo de la radioastronomía, cuando se hizo posible revelar la presencia de estas moléculas, bajo la forma de grupos de átomos que se unen formando compuestos químicos. La mayoría de los cuerpos celestes emite radiaciones luminosas lo suficientemente intensas como para ser vistas por un telescopio óptico; pero, sin embargo, las moléculas permanecen invisibles a esta forma de observación. Para evidenciarlas, es necesario "escucharlas" a través de las ondas de radio (cuya longitud de onda es su-

hidrógeno, carbono, nitrógeno, azufre y silicio. Están formadas por un número variable de átomos, entre 2 y 7, aunque parece que han sido identificadas moléculas que contienen hasta 11 átomos. La mayor parte de las moléculas espaciales se encuentra también en la Tierra: se pueden destacar, entre otras, las de amoníaco, vapor de agua, formaldehído, dióxido de carbono, etcétera. Algunas de las moléculas galácticas, como por ejemplo las de nitroxileno y cianotetracetileno, son demasiado frágiles para existir en la Tierra. Ello se debe a que la densidad de nuestro aire es demasiado elevada para permitir que su estructura sobreviva.

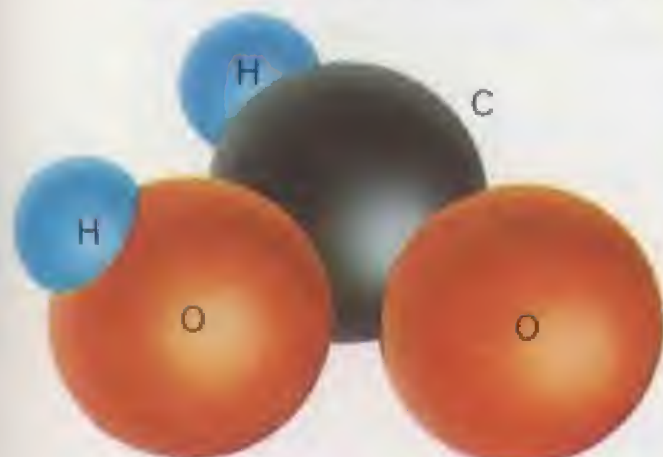
Las nubes de moléculas La mayoría de las moléculas gaseosas se encuentra concentrada en enormes nubes moleculares, en el centro y a lo largo de los cuatro brazos espirales de nuestra galaxia. La densidad de estas nubes de moléculas es centenares de veces superior a la del es-

pacio circundante en el que se encuentran (en el espacio que rodea a la nube, los átomos de hidrógeno se encuentran a una densidad cercana a 1 átomo por centímetro cúbico). Las nubes moleculares son mucho más densas y más frías que las nubes atómicas. Observadas desde la Tierra, las nubes moleculares aparecen como estrías oscuras entre las estrellas. Las partículas de polvo englobadas en las moléculas absorben cualquier tipo de luz proveniente de las estrellas y se comportan como un escudo protector frente a la radiación ultravioleta, que destruye la estructura de las moléculas. Estas bandas celestes oscuras eran, hasta hace unos años, consideradas como un estorbo para los astrónomos, puesto que impedían la observación de sistemas estelares situados más allá de esas nubes. Actualmente se sabe que las estrías oscuras contienen elementos que aportan una gran variedad de valiosísimas informaciones sobre la química del Universo. Las nubes molecu-

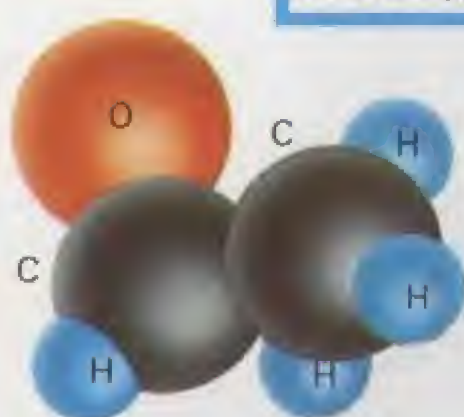
En la tabla, algunos átomos encontrados en la Tierra, la relación isotópica existente entre las formas isotópicas más estables y la relación isotópica existente en el espacio interestelar. En la última columna, las moléculas compuestas por los átomos citados y las regiones del espacio en donde han sido descubiertas. Abajo,

el diagrama con las distintas fases del análisis de una muestra de sustancia proveniente del espacio cósmico en forma de meteorito. Se trata de evidenciar sustancias químicas muy precisas, como aminoácidos libres, hidrocarburos aromáticos, alcanos, aminoácidos hidrolizables y pirimidinas.

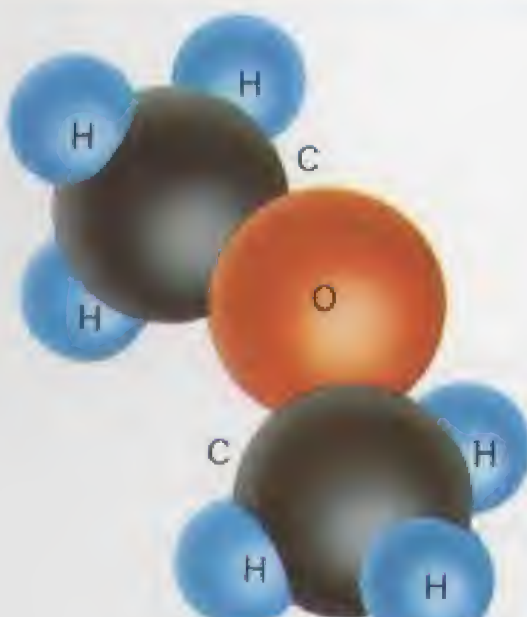
ATOMO	RELACION ISOTOPICA TERRESTRE	RELACION ISOTOPICA INTERESTELAR	MOLECULAS INTERESTELARES Y REGIONES DE DESCUBRIMIENTO
CARBONO-12/CARBONO-13	89:1	CERCA 50:1 SI OXIGENO-16/OXIGENO-18=488:1	H ₂ CO, CENTRO GALACTICO
		CERCA 89:1 SI OXIGENO-16/OXIGENO-18=870:1	H ₂ CO, CENTRO GALACTICO
		CERCA (89±15):1	H ₂ CO, AL
		CERCA (82±15):1	CH ⁺ , ZETA OPHIUCO
		488:1 SI CARBONO-12/CARBONO-13=50:1	H ₂ CO, CENTRO GALACTICO
		488:1 SI CARBONO-12/CARBONO-13=50:1	CO, CENTRO GALACTICO
OXIGENO-16/OXIGENO-18	488:1	870:1 SI CARBONO-12/CARBONO-13=89:1	H ₂ CO, CENTRO GALACTICO
OXIGENO-16/OXIGENO-17	2.700:1	(390±100):1	OH, CENTRO GALACTICO
NITROGENO-14/NITROGENO-15	270:1	POR LO MENOS 2.700:1	OH, CENTRO GALACTICO
		MAS DE 70:1	NH ₃ , CENTRO GALACTICO
AZUFRE-32/AZUFRE-34	22,5:1	(230±70):1	HCN, ORION
AZUFRE-32/AZUFRE-33	125:1	(24±5):1	CS, CENTRO GALACT Y OTROS LUGARES
		MAS DE 100:1	CS, ORION



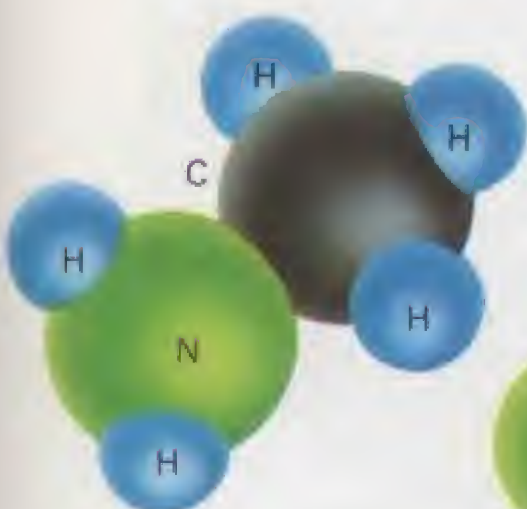
ácido fórmico HCOOH



acetaldehído CH₃CHO



éter dimetilico (CH₃)₂O



metilamina CH₃NH₂

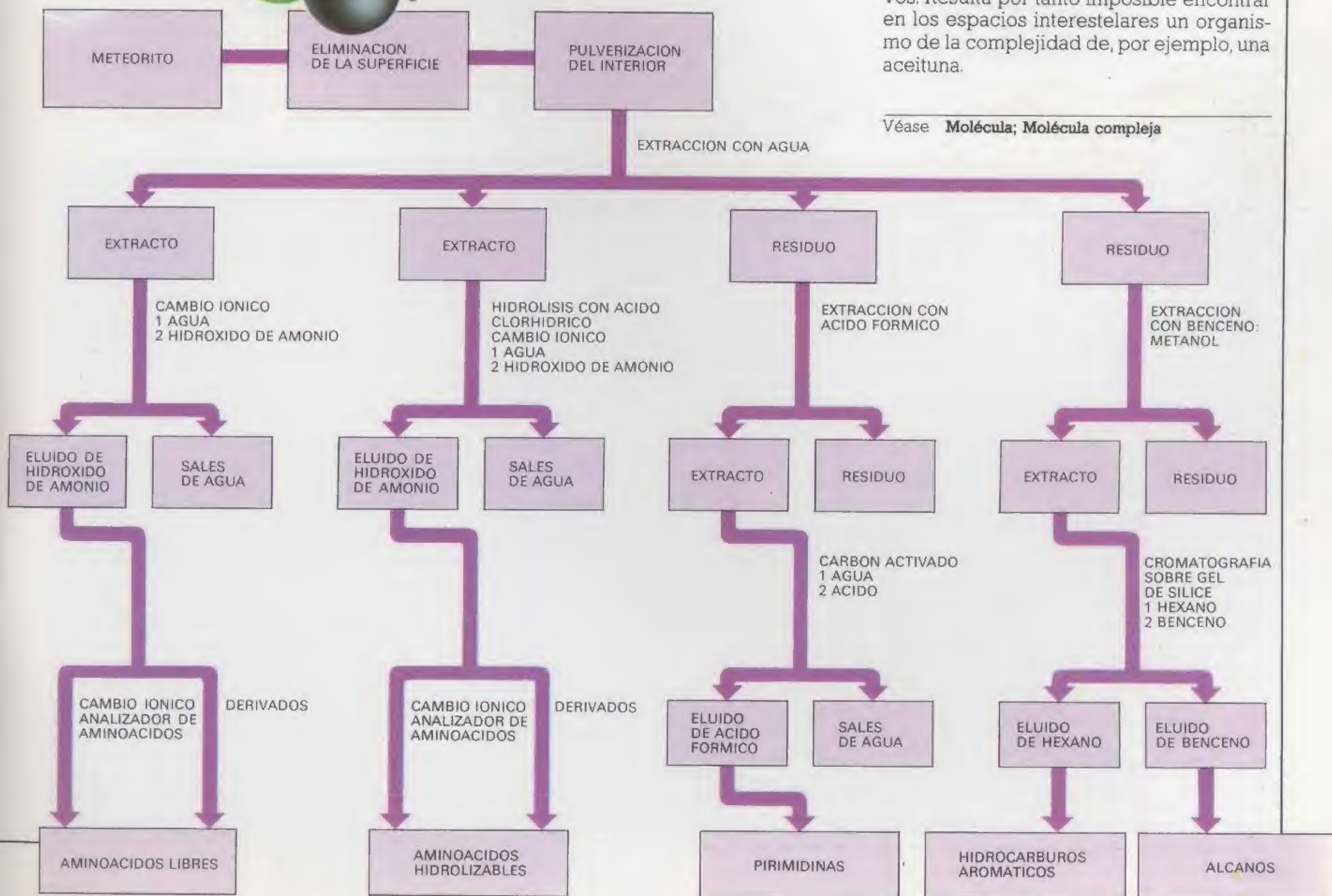


ácido isotiocianico HCNS

lares funcionan como "fábricas de estrellas" gigantes que contienen una cantidad de material bruto (gas molecular) cercana a 100 ÷ 200 miles de veces el contenido en nuestro Sistema Solar. La elevada densidad de las moléculas presentes en una nube conlleva un número más elevado de colisiones moleculares. El resultado de tales colisiones son reacciones químicas que provocan modificaciones de la estructura molecular y producen nuevos tipos de moléculas.

Aunque se han descubierto en las nubes moleculares los elementos esenciales para la formación de estrellas y planetas, y ya han sido formuladas diversas teorías sobre la mecánica de la condensación, aún no se han identificado en su interior las moléculas de los ácidos nucleicos, que constituyen la base de los organismos vivos. Resulta por tanto imposible encontrar en los espacios interestelares un organismo de la complejidad de, por ejemplo, una aceituna.

Véase **Molécula; Molécula compleja**



Moluscos

El minúsculo organismo llamado *Neopilina*, que fue sacado a la superficie desde las profundidades del océano Pacífico en 1952, es el representante viviente más antiguo del *phylum* de los Moluscos. A este *phylum* o grupo animal pertenecen también las almejas, los mejillones, los caracoles, las babosas, las orejas de mar, las ostras, las sepias, los pulpos y los estrómbidos, entre muchos otros.

Las más de 80.000 especies de moluscos hacen que sean, después de los insectos y vertebrados, el tercer grupo en importancia y variedad.

Los restos fósiles demuestran que la existencia de los moluscos se remonta a unos 600 millones de años. En la actualidad están ampliamente distribuidos por todo el mundo, siendo uno de los grupos animales mejor adaptados. Se pueden encontrar tanto en las grandes profundidades oceánicas como en los bajíos, tanto en la tierra firme —a muy diferentes altitudes— como en los ríos de rápida corriente y en los pantanos.

Similitud de sus formas corporales

Aunque a primera vista un pulpo y una almeja tienen muy poco en común, ambos son moluscos y se caracterizan por su cuerpo blando, sin aparato esquelético interno. La palabra *molusco*, del latín *molluscus*, significa "de cuerpo blando". Suelen

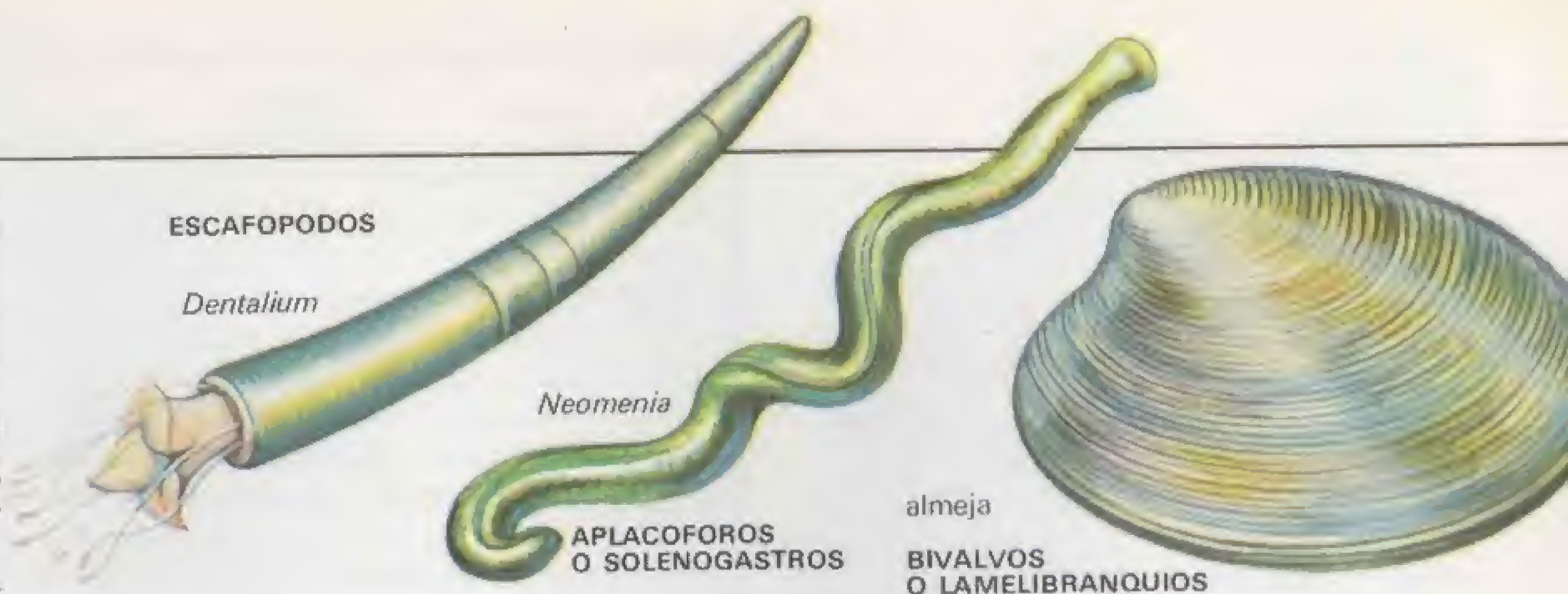
estar provistos de una concha, aunque no hay ninguna forma que se pueda tomar como modelo. Pueden tener una cabeza con tentáculos y ojos (que se ha perdido desde hace mucho tiempo en los bivalvos, es decir, moluscos de concha doble con charnela, como las almejas), una lengua llamada *rádula*, un pie musculoso, una piel viscosa que segrega moco, y un órgano —llamado *manto*— que forma la concha. Las conchas están formadas por carbonato cálcico, y su función, en principio, es la de proteger el cuerpo del animal, aunque en muchas especies, —como las sepias, las babosas o los pulpos— se ha reducido y está dentro del manto.

Clasificación El *phylum* se divide en siete clases de moluscos vivientes, según las características básicas de las especies. Los caracoles y babosas, que pertenecen

a la clase de los Gasterópodos, tienen una sola concha —generalmente enrollada en espiral—, una cabeza bien patente y un pie ventral que representa las tres cuartas partes del cuerpo del animal.

Las almejas y las ostras pertenecen a la clase de los Bivalvos, cuyo pie está reducido a un pequeño apéndice usado como ancla. Los bivalvos más grandes son los tacobos (*Tridacna*) de los arrecifes de coral del Índico y del Pacífico, que pueden sobrepasar los 130 cm de largo. Sus conchas son empleadas por las poblaciones indígenas como cunas para los niños. La clase más evolucionada en cuanto a su estructura es la de los Cefalópodos (con una cabeza bien diferenciada, en la que tienen los tentáculos); a ella pertenecen los pulpos, las sepias, los calamares, etcétera.

Hay otras cuatro clases de menor entidad: los Monoplacóforos (cuya única es-



Abajo, algunos de los principales moluscos que viven en el mar. Las dimensiones no guardan una correcta proporción entre sí para que se vean bien los detalles de cada

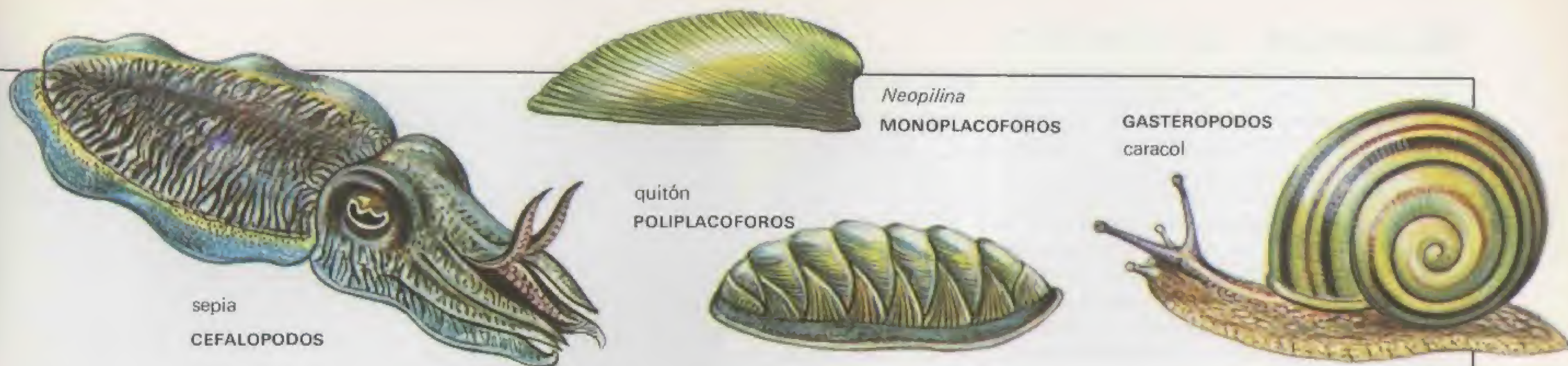
uno. 1) mejillones (*Mytilus*); 2) vermetidos; 3) ciprea o porcelana (*Porcellana*); 4) dátil de mar (*Lithodomus*); 5) liebre de mar (*Aplysia*); 6) dentalio (*Dentalium*),

un escalópodo; 7) caracola (*Triton*); 8) vieira (*Pecten*); 9) *Lima*; 10) navaja (*Solen*); 11) un solenogastro enredado en un alga; 12) pulpo (*Octopus*); 13)

sacogloso; 14) quitón (*Chiton*); 15) *Pinna*; 16) *Facelina*; hasta aquí las formas bentónicas, veamos a continuación las pelágicas; 17) *lantina*; 18) *Argonauta*; 19) nautilo (*Nautilus*);

20) sepia; 21) calamar común (*Loligo*); 22) calamar gigante; 23) calamar vampiro. Los Moluscos se dividen en siete clases. En ambas páginas, arriba, de izquierda a





→ derecha: Escafópodos, también llamados *dentalios* debido a su forma de colmillo de elefante, son sobre todo marinos y tienen tentáculos finos y cortos; *Neomenia*, que vive en las aguas costeras de los mares cálidos y, al igual que

sus congéneres Aplacóforos o Solenogastros, carece de concha; la segunda clase de Moluscos por su número son los Lamelibranquios o Bivalvos, llamados así porque su concha está formada por dos valvas que protegen

el cuerpo blando al cerrarse y cuando se abren dejan pasar el agua y el alimento. En la figura vemos una almeja. Ya en esta página: una sepia, de la clase de los Cefalópodos (las especies vivientes carecen de concha

externa, a excepción de los nautilus); sigue *Neopilina*, un Monoplacóforo; un quitón, un Poliplacóforo y, finalmente, un caracol común de la clase de los Gasterópodos, la más numerosa de todas.

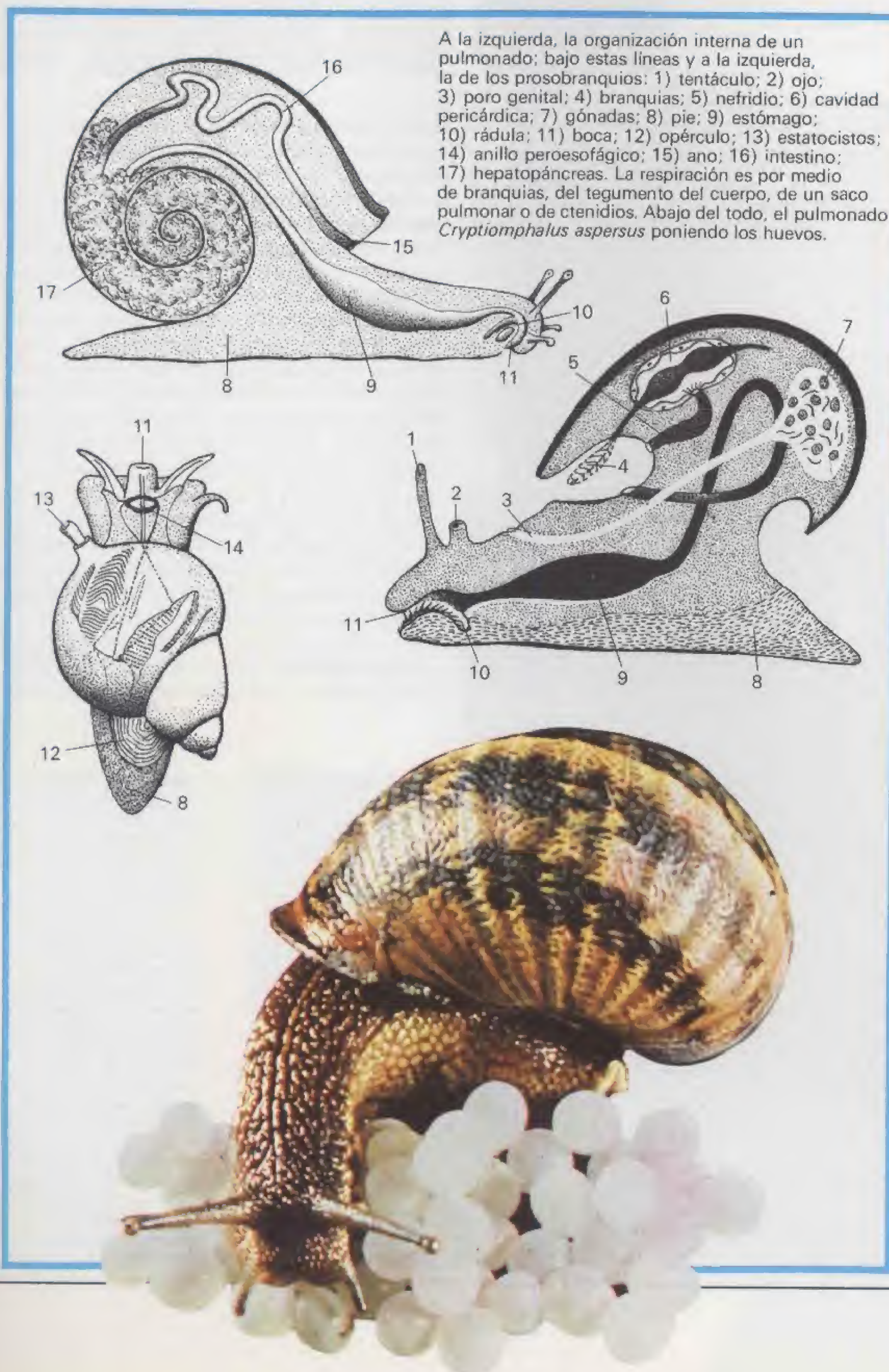
pecie no fósil es la *Neopilina*), los Poliplacóforos, los Solenogastros y los Escafópodos.

Los moluscos pueden ingerir alimentos muy variados, desde algas a plancton, pasando por peces, lombrices u otros moluscos. Hay especies exclusivamente carnívoras, y otras únicamente herbívoras. Su sistema respiratorio es también variado: unos respiran por la piel, otros mediante una cavidad del manto que forma el llamado *pulmón*, y otros por medio de branquias. Los moluscos más sencillos (los más primitivos) se reproducen depositando los espermatozoides y los huevos en el agua, donde tiene lugar la fecundación, si bien es verdad que hay otros, como los pulpos, que tienen órganos genitales masculinos y femeninos y métodos de fecundación interna.

Aprovechamiento Los experimentos con moluscos para estudiar distintos procesos biológicos son de gran utilidad. Por ejemplo, se han llevado a cabo experimentos sobre el sistema nervioso de las especies del género *Aplysia* (babosas o liebres de mar) para tratar de descubrir los mecanismos en los que se basa el fenómeno del aprendizaje y la memoria en el hombre. También se han realizado experimentos parecidos con pulpos y sepias, que tienen un "cerebro" bastante desarrollado. El ojo de estos cefalópodos está también muy desarrollado y presenta una estructura casi tan compleja como la de los vertebrados, a pesar de la gran diferencia filogenética y evolutiva existente entre ambos grupos.

Al margen del interés científico, los moluscos tienen también un notable valor económico para el hombre. Comercialmente, los moluscos con un alto contenido proteico, como las almejas, los pectínicos y las ostras, son una importante fuente de ingresos para los pescadores, y de alimento para mucha gente. Las sepias, ostras y caracoles constituyen platos exquisitos de la cocina de muchos países. Las conchas se puede usar como adornos, o para hacer botones y joyas. También sirven de moneda en los intercambios de algunas culturas primitivas. Por último, las perlas, tan apreciadas en joyería, son una formación de muchas especies de moluscos, especialmente de las ostras.

Véase **Animal; Acuicultura; Invertebrados; Evolución animal**



Monedas, acuñación

La más antigua moneda que ha llegado a nosotros fue acuñada en *electrum* (una aleación de oro y plata) por los antiguos pueblos de Lidia, en Anatolia (Turquía central), hacia el año 700 a. de Cristo. Sin embargo, hasta siglos más tarde no surgió la necesidad de que la producción de monedas fuese rigurosamente reglamentada, apareciendo la primera ceca —"fábrica" donde las monedas podían ser legalmente acuñadas— en Asia Menor. En China el arte de acuñar monedas nació de forma totalmente independiente poco más o menos en el mismo período, extendiéndose desde allí a Japón y Corea. También en las Islas Británicas se contribuyó de modo sustancial al desarrollo de la acuñación, y la primera ceca aparece allí en el siglo III a. de Cristo. En la época de la conquista normanda, hacia 1066, estaban funcionando en Inglaterra al menos 70 casas de la moneda. En el siglo XVI aparecieron otras cecas en Perú y en México, obra de los españoles, que de este modo podían beneficiarse más directamente de las grandes cantidades de oro y plata que explotaban en aquellos países. En Norteamérica, ya en el siglo XVII, eran fabricadas monedas de plata en Massachusetts, pero hasta 1792 no fue constituida en Filadelfia la primera ceca de Estados Unidos.

Actualmente numerosas casas de la moneda inglesas producen monedas por cuenta de otros países y en ellas tiene lugar asimismo la refinación de los metales a emplear, así como la fabricación de medallas. Además, en las casas de la moneda se conservan habitualmente reservas de oro, plata y otros metales del Estado, y se llevan a cabo estudios sobre las mone-

A la derecha, las cabezas de los troqueles. Estos utensilios de durísimo acero sirven para imprimir sobre las piezas de metal el anverso y reverso de la moneda. Para fabricar el troquel se necesita la elaboración previa de un modelo de tamaño relativamente grande. La reducción al diámetro de la moneda y la sucesiva fabricación del utensilio de acuñación se efectúan mediante máquinas especiales de fresado de gran precisión. Debido a la dureza del metal que se acuña, la imagen grabada en el troquel se deteriora con bastante frecuencia, razón por la que hay que renovar los troqueles a menudo.



das y su coleccionismo (también conocido bajo el término de *Numismática*).

Antiguos métodos de acuñación Antes del siglo XV, las monedas eran labradas golpeando individualmente cada uno de los pedacitos de metal con un martillo. La moldura inferior o reverso de la moneda tenía una punta mediante la cual podía ser clavada en un cepo de madera. La pieza de metal a grabar era colocada sobre dicha moldura inferior, allí se superponía la parte superior (la "cara") y se golpeaba con el martillo una o más veces hasta que

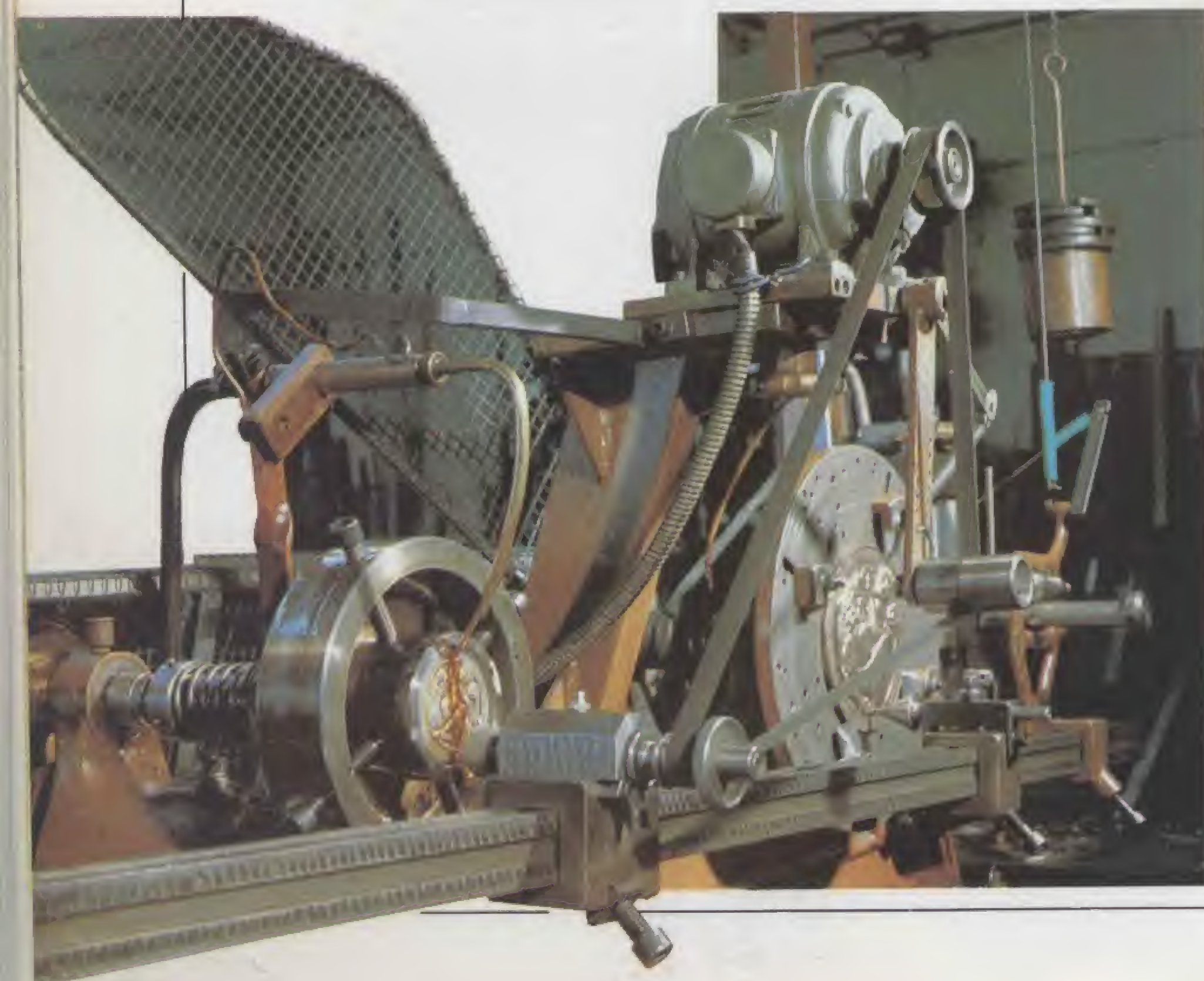
quedasen grabadas sobre las caras de la plaquita metálica las dos figuras de los moldes.

La mecanización de la acuñación comenzó en Italia en el siglo XV, con el empleo de pesados rulos para aplastar las barras del metal a convertir en moneda. De la plancha así obtenida, las piezas destinadas a monedas eran talladas en serie y de una en una. Hacia finales del siglo XVIII fueron adoptadas las primeras prensas a vapor. Mediante estas prensas se podían ejercer elevadísimas presiones sobre los pequeños discos, que eran automáticamente encajados en dichas prensas. En la producción de las monedas antiguas se usaba con mucha frecuencia el oro y la plata; más tarde, sin embargo, se recurrió, por motivos de orden económico, a metales menos costosos como el cobre y el níquel.

Herramientas para la acuñación Para llevar a cabo la acuñación de monedas se

A la izquierda, una máquina para la preparación de las piezas de metal de las que se obtendrán las monedas. El trabajo del metal en esta fase y en las sucesivas es tanto más difícil cuanto más duro es el material en cuestión. Los metales para acuñación más duros son, en orden creciente: oro, plata, aluminio (en aleación), cobre duro, acero inoxidable, bronce. La operación de cortado de la pieza de metal que después será acuñada tiene también como efecto el endurecimiento del propio metal, lo que dificulta las sucesivas

labores. Por eso se procede al recocido, esto es, a un recalentamiento seguido de un lento enfriamiento que ablanda el metal lo suficiente para poder ser trabajado. La siguiente operación de acuñación lo endurecerá de nuevo, pero en este punto la moneda está ya terminada y la dureza se convierte en una ventaja porque la hace menos deteriorable al uso. Y es que la razón fundamental por la que hoy en día se emplean las monedas metálicas en todos los países es, precisamente, su mayor dureza frente al papel.



necesita un par de matrices con que troquelar los grabados sobre los cospeles o pequeños discos metálicos, una matriz para la cara y otra para la cruz (anverso y reverso). La elaboración de las matrices se hace partiendo de un modelo, realizado por un artista, unas ocho veces más grande que el tamaño definitivo de la moneda. Una réplica niquelada de ese modelo se monta en un torno de reducir, que reproduce una copia exacta del original al tamaño de la moneda sobre acero de gran calidad. Este acero se somete a tratamiento térmico para conferirle mayor dureza. Tras ser calentado hasta temperaturas muy altas y enfriado seguidamente a una velocidad determinada, se obtiene un utensilio denominado *macho*, a partir del cual se fabrica por *punzado* (golpeando el grabado sobre un nuevo trozo de acero) una serie de nuevos utensilios. Se obtienen así las matrices y el troquel.

La acuñación moderna En la actualidad, las leyes de acuñación de los diversos países establecen rígidas especificaciones sobre la composición de las monedas, así como sobre sus medidas y pesos. Los metales y aleaciones utilizados son numerosos: níquel, cuproníquel (cobre y níquel en aleación), plata "alemana", aluminio y bronce (aleación de cobre y estaño).

En la fabricación de las monedas se pueden distinguir nueve estadios diferentes: 1) recogida, pesado y análisis de las materias primas para la aleación; 2) preparación de estas mismas materias y separación cuantitativa proporcional para obtener las aleaciones deseadas; 3) fusión de los metales y colada de la masa fundida para obtener lingotes; 4) laminación, que transforma los lingotes en láminas; 5) corte para la obtención de pequeños discos metálicos o *cospeles*; 6) calentamiento y lento enfriamiento posterior de los discos obtenidos—procedimiento que restituye al metal una normal estructura microcristalina interna que hace más fácil el troquelado de las monedas—; 7) rebordeado,



La moneda italiana de 500 liras está realizada en dos metales, bronce en la parte central y acero (inoxidable y amagnético) en la externa. El acoplamiento de los colores es admirable y la precisión del trabajo digna de piezas de valor más alto, tanto desde el punto de vista del metal como desde el del coleccionista. Es asimismo la primera moneda del mundo que lleva tallado su valor en Braille, con objeto de que pueda ser reconocido por los ciegos.

consistente en laminar las piezas entre rodillos estriados para recalcar los bordes y dejarlos con más espesor que el centro; 8) troquelado de las piezas con la impresión de las imágenes; 9) control del peso y medida de la moneda terminada, recuento del número de monedas acuñadas y empaquetación en saquitos para su expedición a los bancos.

Durante el proceso de acuñación, el control de calidad es constante. De cada lote de producción son retiradas, en todas las fases, diversas "muestras" tomadas al azar, a fin de controlar su peso, medida y moldura. Así, las monedas que accidentalmente se estampan dos veces o presentan otros defectos son rechazadas en el proceso de control y vuelven a ser nuevamente fundidas.

Véase **Aleación; Dinero**



Arriba y a la derecha, una máquina para la acuñación, cerrada y abierta. Se alimenta con las piezas de metal y se obtienen de ella las monedas terminadas (a falta, únicamente, del rebordeado). Podemos ver que se trata de una prensa capaz de alcanzar impulsos muy elevados y una gran velocidad. La moneda sale muy caliente del molde de acuñación a causa del fortísimo trabajo dispersado en su interior por la dilatación. En el extremo más a la derecha puede verse la pieza o soporte en donde va el troquel montado.



Mononucleosis infecciosa

La mononucleosis, enfermedad infecciosa conocida también como *fiebre ganglionar* o *enfermedad de Pfeiffer*, es una infección viral aguda que afecta generalmente a personas jóvenes. Se trata de una enfermedad debilitante que casi siempre aparece de improviso y, con frecuencia, acompañada de fiebre continua e irregular, inflamación de la garganta, erupción cutánea, inflamación y consiguiente aumento de tamaño de los ganglios linfáticos (especialmente de los situados en el cuello), agrandamiento del bazo o del hígado y sensación de malestar general. Aunque puede hacer su aparición en cualquier época del año, es más frecuente en otoño y primavera.

La mononucleosis se caracteriza por la presencia de cifras anormales de linfocitos (un tipo particular de glóbulos blancos) en la sangre, muchos de los cuales son células grandes con un único núcleo ("mononucleares"), de donde deriva el

nombre de la enfermedad. Dada la complicación linfoglandular y el cuadro de linfocitos a veces con elevadísimo número de glóbulos blancos, la enfermedad, en sus variantes más graves, puede ser confundida con una leucemia; pero la mononucleosis no es una neoplasia y no es una enfermedad peligrosa; ayudan a su diagnóstico el curso benigno y la *reacción de Paul-Bunnell*, que es específicamente positiva en los pacientes afectados por esta enfermedad. El curso del mal dura desde algunas semanas hasta un par de meses, y el pronóstico es siempre benigno (aunque aparezca, como complicación, una meningitis linfocitaria, que se resuelve rápidamente por sí sola). No existe todavía un tratamiento específico para esta enfermedad, aparte del reposo absoluto, la administración de líquidos, la desinfección de la parte posterior de la boca inflamada y la administración de dosis bajas de corticoides. Además, el paciente afectado

debe mantenerse en estado de semiaislamiento, dado que la enfermedad es moderadamente contagiosa.

Son frecuentes las recaídas, es decir, el retorno de los síntomas después de que la infección parecía definitivamente vencida, especialmente cuando el paciente está sometido a una vida fatigosa y a una alimentación inadecuada. Por otro lado, una vez que la mononucleosis está curada definitivamente, el paciente queda ya inmunizado contra esta misma enfermedad de modo permanente.

La "enfermedad del beso" Hasta hace poco tiempo, la mononucleosis era una enfermedad desconocida; su primera descripción detallada data de 1920.

En los años cincuenta, algunos médicos de la Academia Militar de los Estados Unidos observaron que un notable número de jóvenes cadetes manifestaba los síntomas de la enfermedad poco tiempo des-

La mononucleosis, o fiebre ganglionar, es una enfermedad infecciosa aguda provocada por el virus de Epstein-Barr (virus EB), que pertenece a la familia de los *Herpes virus*. Afecta principalmente a personas jóvenes, entre 15 y 30 años, y está difundida por todo el mundo. Las modalidades de transmisión son hasta la fecha poco conocidas: parece que el virus penetra en el organismo a través de la cavidad orofaríngea. Por este motivo la enfermedad se denomina comúnmente *enfermedad del beso*.

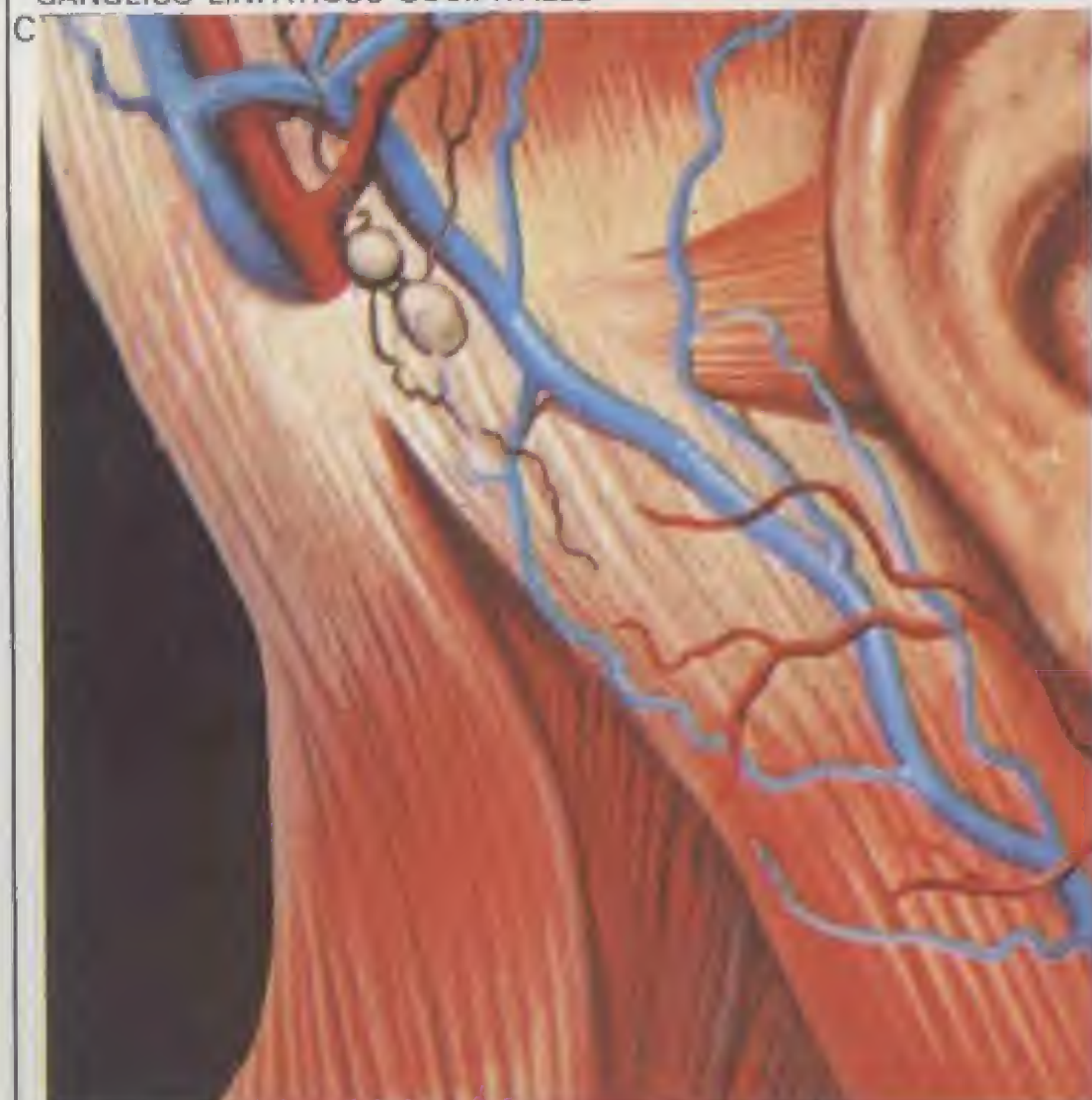
GANGLIOS LINFATICOS LATEROCERVICALES



GANGLIOS LINFATICOS SUBMANDIBULARES



GANGLIOS LINFATICOS OCCIPITALES



GANGLIOS LINFATICOS RETROAURICULARES



En casos de diagnóstico difícil o controvertido, el examen de la sangre dirige al médico hacia una solución precisa: en efecto, en la fiebre ganglionar puede apreciarse un leve incremento de los glóbulos blancos y, entre éstos, un neto predominio de los linfocitos y monocitos. En la sangre están presentes, además, anticuerpos que aglutinan los glóbulos rojos de carnero; en la puesta de manifiesto de estos anticuerpos se basa precisamente la prueba conocida como *reacción de Paul-Bunnell*, que, si bien no es específica de esta enfermedad, reviste una gran importancia diagnóstica.

pués de volver de un permiso. Las indagaciones llevadas a cabo revelaron que los cadetes habían tenido contactos bucales con personas afectadas por esta enfermedad.

Más tarde se confirmó que el agente infeccioso, conocido como *virus de Epstein-Barr* (EB), estaba presente en la saliva de los pacientes y podía ser transmitido mediante un contacto bucal: al besar, al beber en un mismo vaso, al utilizar un mismo cubierto, etcétera.

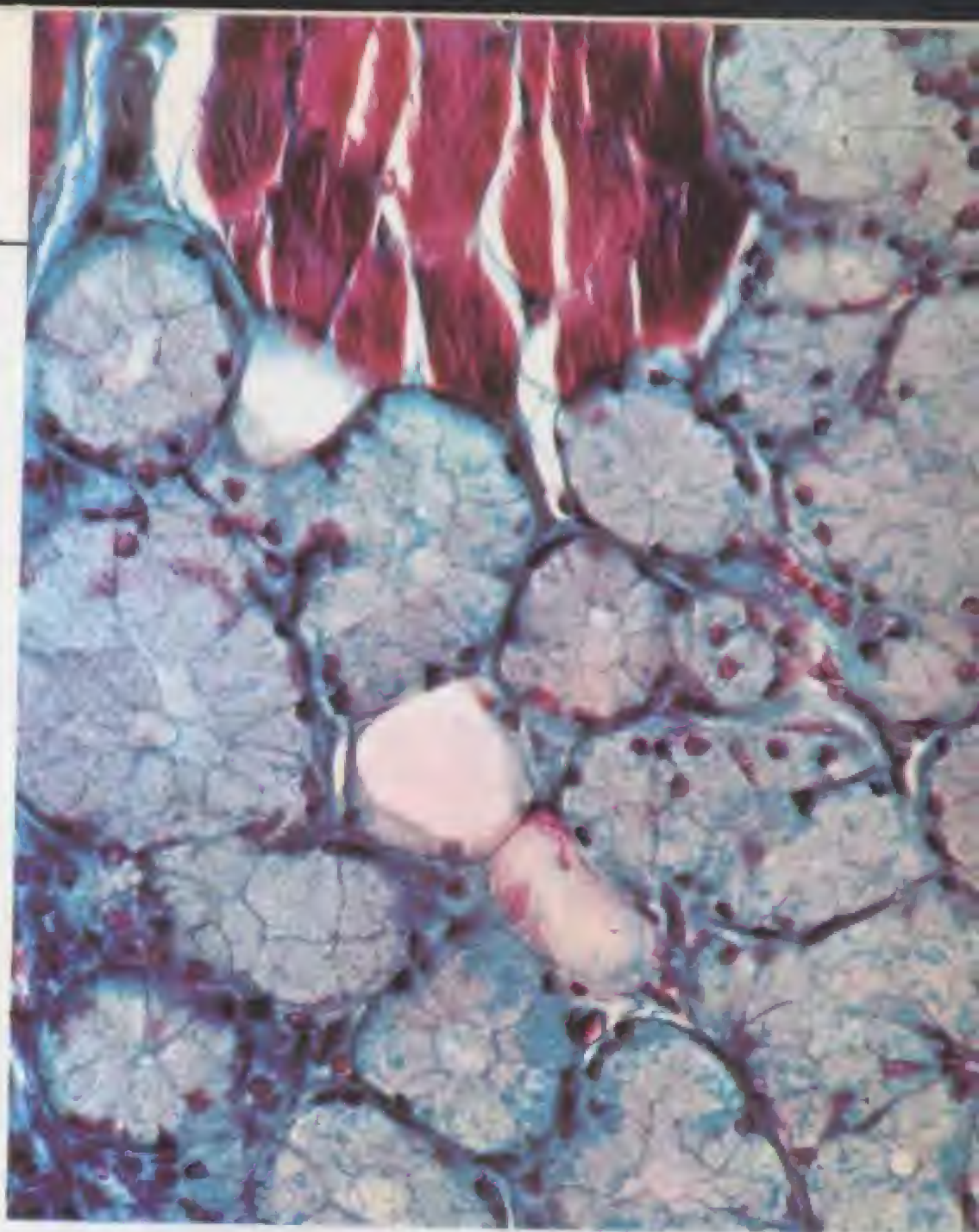
Desde ese momento, la mononucleosis infecciosa se conoce comúnmente con el nombre de *enfermedad del beso* o *enfermedad de los novios*, nombres más que apropiados si se considera que los grupos de edades más afectados son precisamente los comprendidos entre los 17 y los 30 años. Algunos casos de la enfermedad se atribuyen también a transfusiones de sangre en la que está presente el antígeno o el virus EB.

Inmunidad Hay personas que parecen presentar inmunidad natural al antígeno EB. Para los que no gozan de tal inmunidad es difícil protegerse del contagio: no existen todavía vacunas. Como medida preventiva contra esta enfermedad y contra otras que se contagian por vía oral, se aconseja no utilizar vasos, cubiertos, platos, etc., empleados por otras personas.

Véase **Sangre**

A la derecha, tejido glandular; abajo del todo, extensión de sangre vista al microscopio óptico, en la que es visible un monocito. La enfermedad tiene en la mayoría de los casos una evolución benigna y la curación se produce después de 3 ó 4 semanas. No son raras, sin embargo,

las recaídas o la recrudescencia de la sintomatología. Las complicaciones más temibles, dado que pueden ser letales, son la rotura del bazo, la afectación del sistema nervioso central con parálisis respiratoria, y edema de la faringe o de la laringe. El tratamiento es aún sólo sintomático.



GANGLIOS LINFATICOS AXILARES



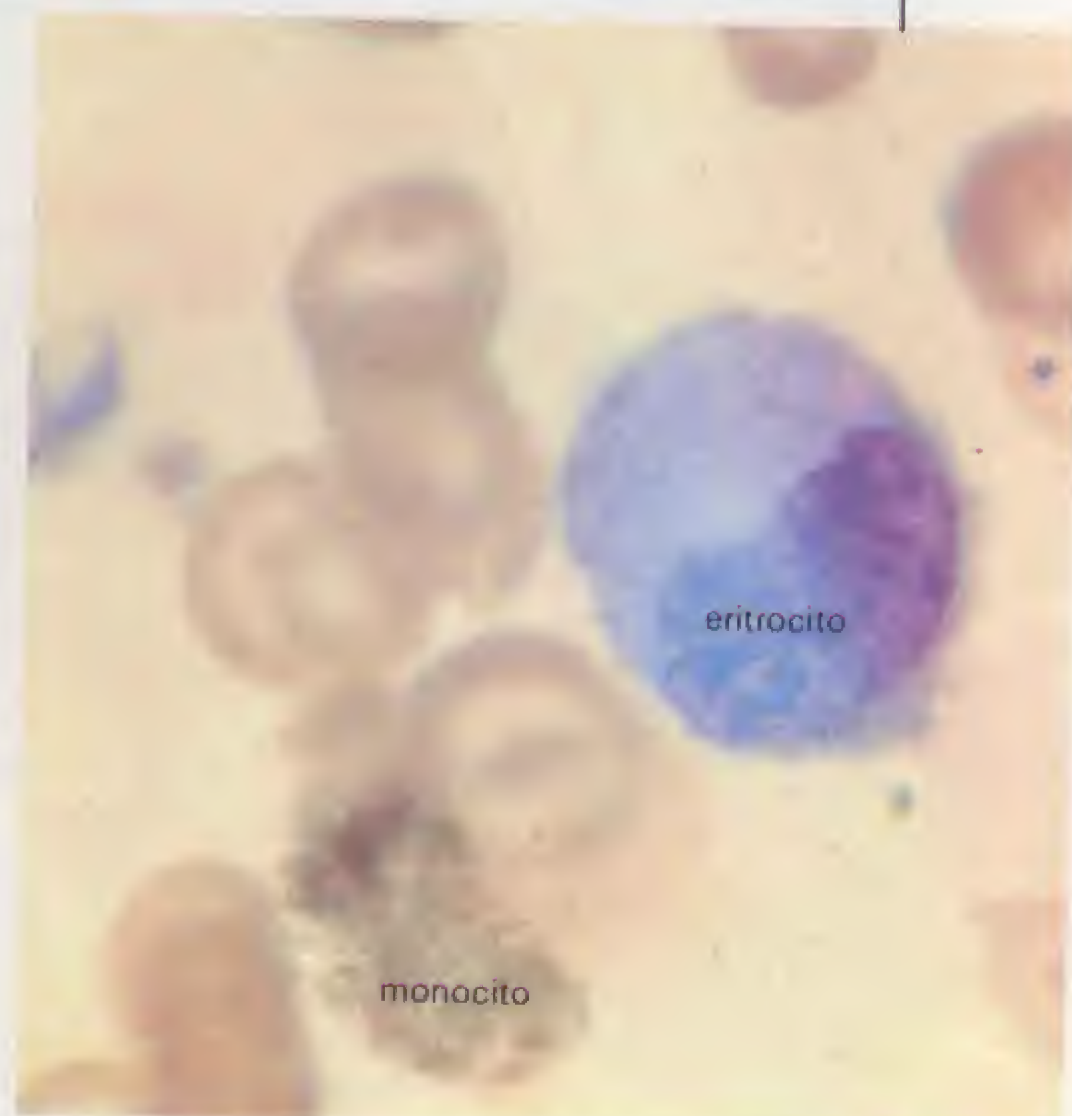
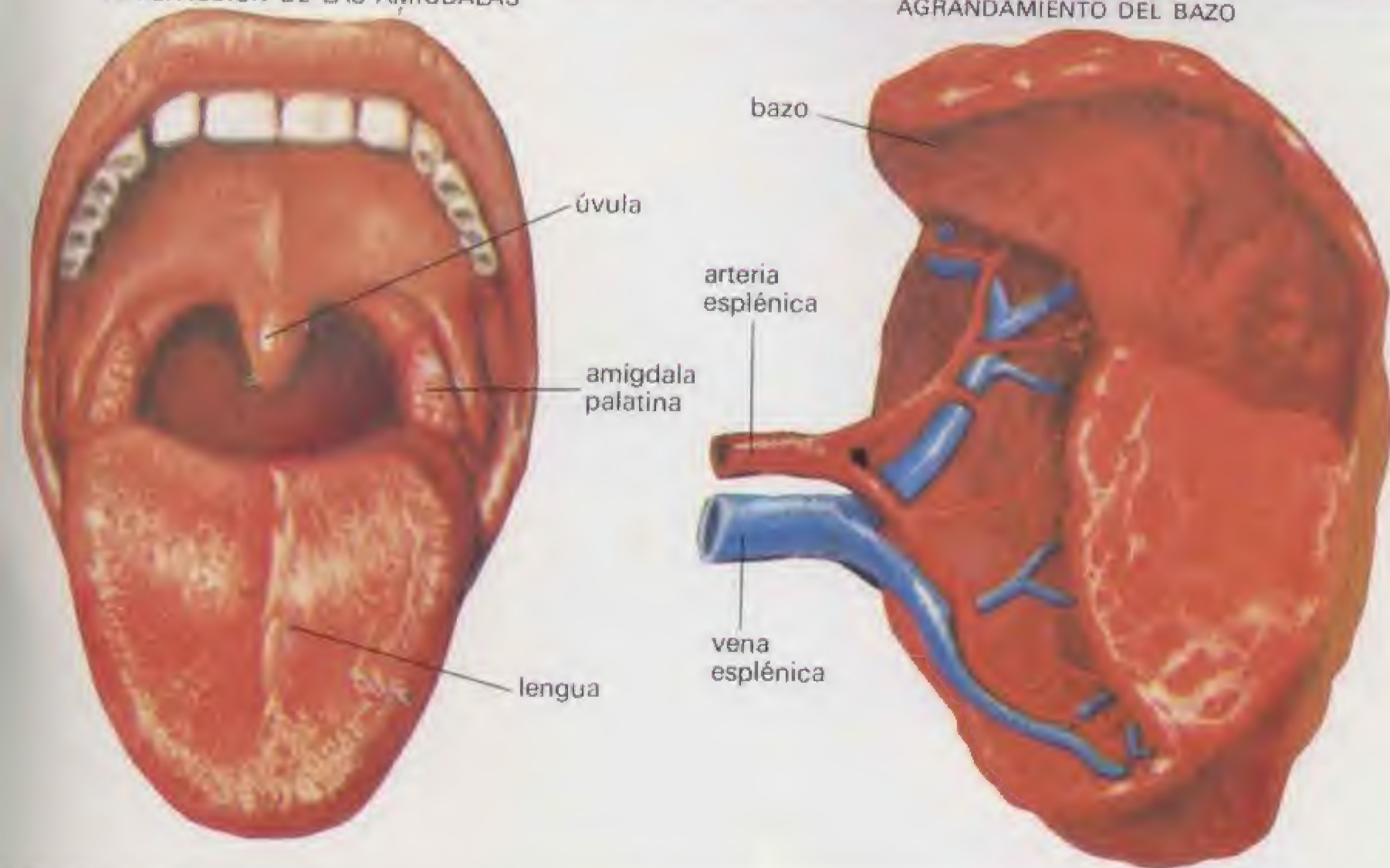
GANGLIOS LINFATICOS INGUINALES



Las manifestaciones más aparentes de la mononucleosis las constituyen los agrandamientos de los ganglios linfáticos del cuello (página anterior: A, B, C, D) y, a veces, de los ganglios de otras localizaciones, como la axila y la ingle (E, F). El cuadro se completa, sucesivamente, con la aparición de enrojecimiento y tumefacción de las amígdalas y aumento de tamaño del bazo. No siempre, sin embargo, el cuadro clínico es de fácil diagnóstico.

TUMEFACCION DE LAS AMIGDALAS

AGRANDAMIENTO DEL BAZO

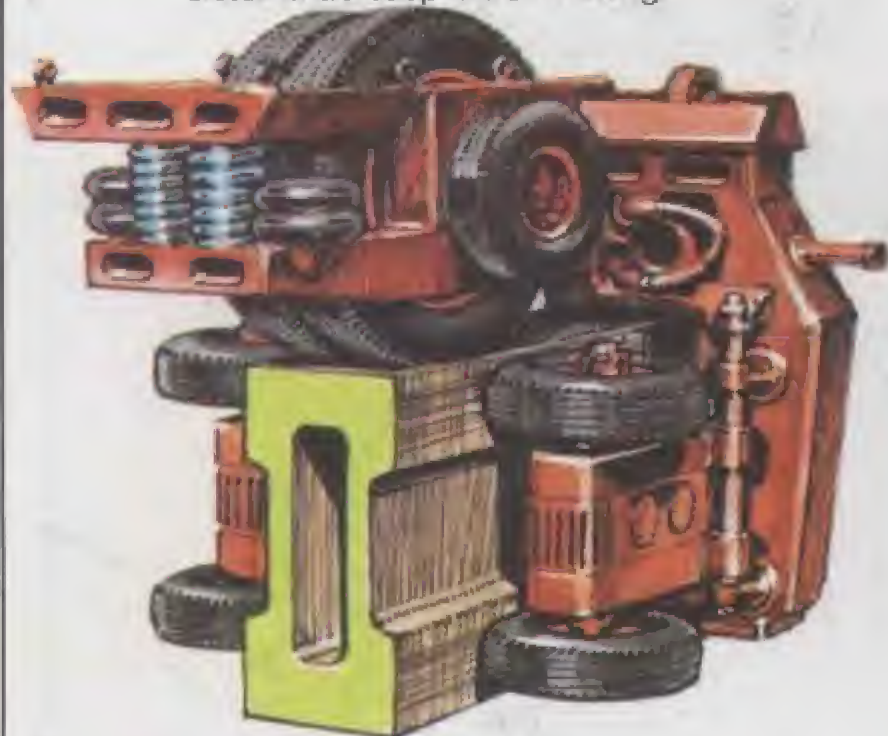


Monorraíl

Los futurólogos y los escritores de ciencia-ficción habían previsto para los años sesenta un mundo en el cual las grandes ciudades serían surcadas por veloces y silenciosos trenes monorraíles; en realidad, hasta ahora sólo han sido construidas poco más de treinta líneas, la más larga de las cuales tiene un recorrido de 16 kilómetros. De todas las líneas que actualmente se encuentran en funcionamiento, dos fueron creadas para exposiciones mundiales, dos funcionan en parques de atracciones y una fue construida para solucionar el transporte con motivo de unos juegos olímpicos.

El monorraíl o monocarril es un ferrocarril en el cual el convoy se apoya y corre sobre un único raíl central. Para estabilizar los vagones, las ruedas corren sobre las partes superior y laterales del raíl central. El término *monorraíl* se utiliza tam-

sistema de suspensión Alweg



bién para indicar el sistema de transporte de mercancías utilizado en la producción industrial.

Los monorraíles en el mundo Uno de los primeros monorraíles construidos para el transporte de pasajeros, bautizado jocosamente con el nombre de *el ferrocarril del balanceo*, fue construido en el año 1901 en Wuppertal, Alemania. Sus vagones, suspendidos de un raíl metálico, siguen prestando actualmente servicio en un recorrido de 15 kilómetros. Desde entonces se construyeron pocos monorraíles, hasta que en los años cincuenta, gracias al interés del industrial Axel L. Wenner-Gren, fue proyectado en Suecia un monorraíl de nueva concepción. En este monorraíl los vagones circulan sobre el raíl central, más exactamente a caballo del mismo, y reciben la energía eléctrica de un raíl fijado lateralmente al raíl principal. Un monorraíl similar presta su servicio a lo largo de un recorrido de 4 km en Disneylandia, en el sur de California, mientras que otro está funcionando en Seattle, en el estado de Washington, donde fue construido para la Exposición Mundial de 1962,

A la derecha, un ejemplo de monorraíl con sistema Alweg. El principio de los bogies está ilustrado en el esquema superior.

sobre un recorrido de 1 kilómetro. Para la Expo 70 de Osaka se construyó en Japón una línea de 4,3 km; aunque ya anteriormente, en 1954, con ocasión de las Olimpiadas, había sido construida una de las líneas modernas más largas (13,1 km), que unía el centro de Tokio con el aeropuerto. Este último monorraíl está aún en funcionamiento, si bien en sus primeros seis años de servicio tuvo un gran déficit; sin embargo, la situación ha cambiado desde que la autopista del aeropuerto, construida recientemente, presenta altos niveles de congestión por lo que muchos pasajeros se han convencido de la ventaja de utilizar el monorraíl. Por su parte, en EE UU, y en los años setenta, se construía un monorraíl de 20 km de longitud —del tipo de vagones colgantes de un carril central— para unir los aparcamientos y los hoteles con el aeropuerto de Dallas-Fort Worth, en

Tejas. Los altos costes de construcción y funcionamiento del moderno monorraíl han impedido el desarrollo de otras líneas y ninguna ciudad dispone de un extenso sistema de este tipo de transporte. Esto no significa que el monorraíl no ofrezca características interesantes. En primer lugar es muy silencioso, ya que apoya sobre unas ruedas de goma que corren sobre el hormigón. En segundo lugar, al disponer de un solo raíl en lugar de dos, necesita menos espacio para los soportes de los raíles, cosa que resulta muy ventajosa en las estrechas calles urbanas.

Un nuevo tipo de monorraíl, que necesita aún menos espacio, ha sido construido recientemente en Hamburgo y podría ser catalogado como el prototipo de transporte urbano del futuro. Este sistema permite el funcionamiento de un tráfico bidireccional sobre un único raíl, ya que los



Arriba, un monorraíl que está en servicio en Tokio. Se trata de un sistema suspendido desde arriba. Si bien deja libre la superficie de la calle, tiene como desventaja un complicado sistema de apoyo y guía de las ruedas.



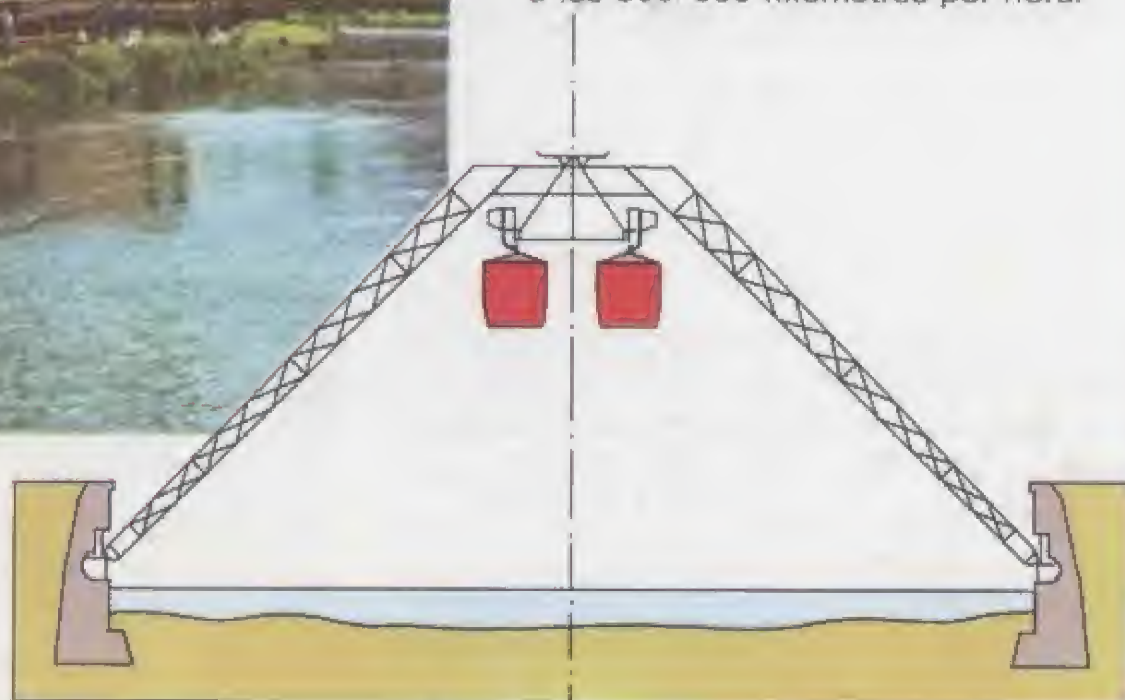
No es casualidad que los monorrailes se encuentren tan frecuentemente en Japón, donde, más que en ningún otro lugar, existen problemas de congestión de tráfico. Realmente los monorrailes ofrecen la ventaja de una reducida ocupación del suelo. En este monorrail de Tokio

apoya en el suelo solamente la base de los pilares que sostienen el rail. Sin embargo, esta ventaja se paga a alto precio: los sistemas de suspensión, según

podemos ver, son complicados y costosos, aunque justificados por la necesidad.



Foto y esquema del monorail de Wuppertal, en Alemania. Está construido para aprovechar plenamente la mayor ventaja que ofrece el monorail: es decir, utilizar la mínima superficie de suelo. Efectivamente, en este caso se encuentra a caballo de un canal y no ocupa las orillas, ni exige el recubrimiento del mismo, ni la excavación de una galería subterránea. Como alternativa al ferrocarril, el monorail resulta ventajoso sólo cuando las velocidades que se deban alcanzar sean tan elevadas que exijan un ferrocarril con un sistema de cojín de aire y un sistema de empuje con motor lineal. Las velocidades actuales de los ferrocarriles pueden alcanzar los 200 ó 300 km por hora, mientras que los monorrailes son ventajosos a partir de velocidades superiores a los 500-600 kilómetros por hora.



vagones pueden viajar tanto por encima como por debajo del mismo. Son pequeños vagones, llamados *taxi-cabinas*, conducidos automáticamente mediante un sistema de ordenadores y que pueden transportar pasajeros entre las estaciones dispuestas a lo largo de un recorrido de 1,6 kilómetros.

Monorail para el transporte de mercancías

Existe un tipo de monorail que se utiliza en las industrias para transportar mercancías. Estos monorrailes se emplean ampliamente tanto en la industria de confección como en la de carnes. Los raíles que sirven de soporte (típicas vigas metálicas en forma de I) están colgados del techo y a lo largo de ellos corren unos carros con ruedas, conectados normalmente a los montacargas. La mercancía es levantada mediante los montacargas y transportada luego por el monorail a lo largo de toda la fábrica. En su recorrido hay unos mecanismos que permiten desviar el material a las distintas áreas de fabricación, bien sea manualmente o bien automáticamente si las líneas están electrificadas. La corriente eléctrica, distribuida a lo largo de las líneas, acciona los montacargas además de los carros. Un tipo de monorail sencillo se utiliza también en las grandes tintorerías para el transporte de las prendas.

Véase Ferrocarril; Ferrocarril metropolitano y tranvía; Motor lineal

Montaje cinematográfico

En un famoso filme de horror, un hombre escapado de un manicomio merodea por un tranquilo barrio periférico en busca de una adolescente que le recuerda a su hermana asesinada por él hace dieciséis años. Cuando el asesino encuentra la casa de la muchacha, desde un matarral salta hacia una ventana abierta. Una serie de rápidas tomas, cada una consistente en una sola imagen, montadas juntas con una cadencia excepcional y terrorífica, lleva al espectador a un estado emotivo que bordea la histeria. ¿Sobrevivirá la muchacha? Naturalmente, pero no antes de que una serie de tomas de navajas centelleantes, pies que corren, manos que intentan frenéticamente cerrar con llave una puerta, y de la casa que queda de improvisto a oscuras lleve al público al estado emotivo deseado por el director.

Tareas del montador Un filme puede ser comparado a una historia escrita. Cada escena del filme se corresponde, en el libro, con un párrafo, cada uno de los cuales expresa una idea con un mensaje propio; mientras que las distintas partes contenidas en esos párrafos (frases) constituyen las diferentes *tomas* de una escena.

Es tarea del montador el empalmar parte por parte la película (toma tras toma, escena tras escena) para comunicar una particular atmósfera de una forma coherente y completa. El montador, en colaboración con el director, examina todas las tomas de la misma escena, efectuadas desde diversos ángulos: de una escena donde hay tres personas, por ejemplo, se hacen nor-

malmente diferentes tomas (de los personajes individualmente, desde diversos ángulos, y del grupo en conjunto). Generalmente, en un filme se rueda una cantidad de película 15 ó 20 veces superior a la que luego será realmente utilizada.

El montador debe examinar cada toma, escoger las mejores y luego unirlas en el orden adecuado con el fin de crear una acción con el estilo, los personajes y la trama del filme.

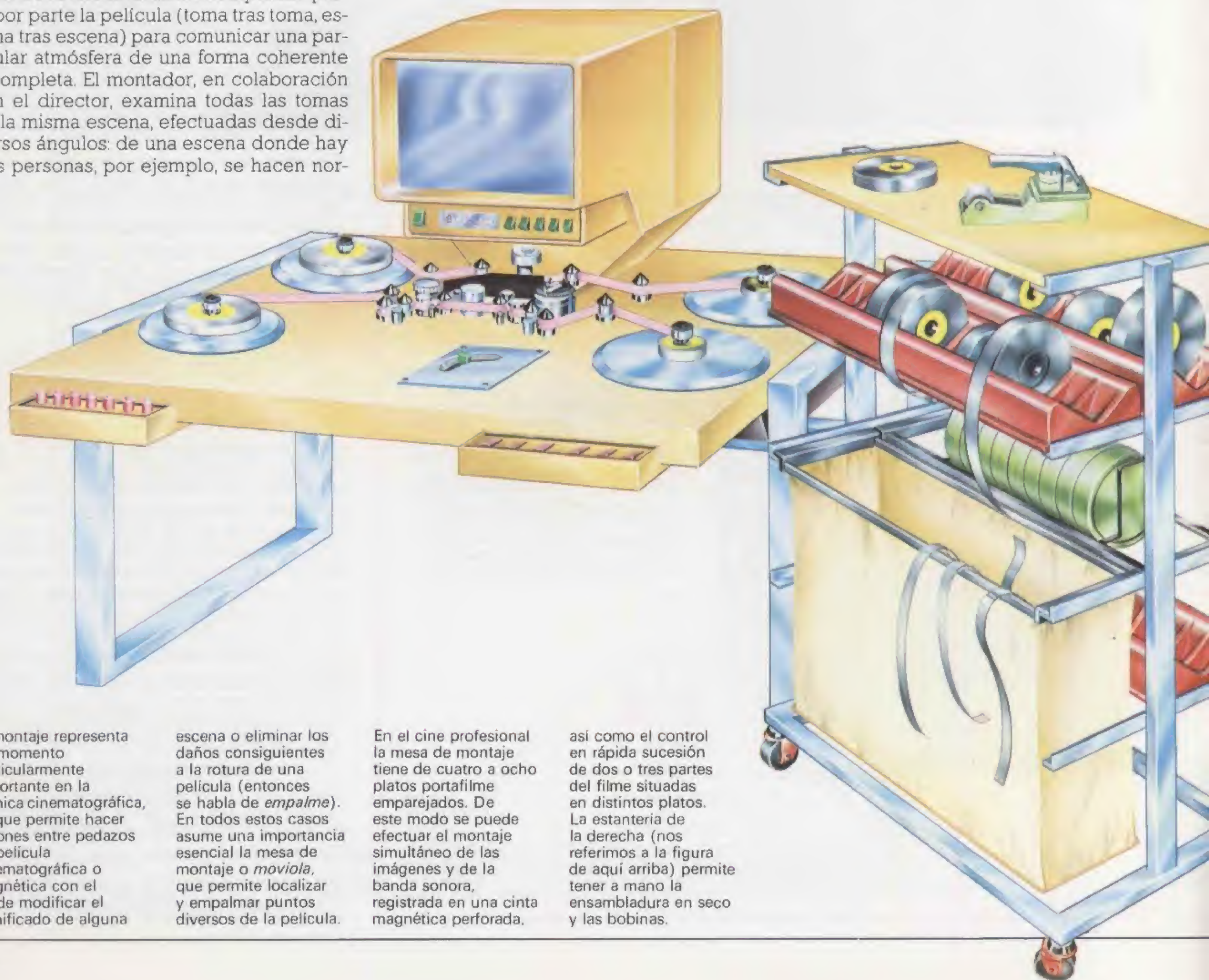
El montaje puede cambiar completamente el significado de una escena: por ejemplo, variando el orden con el cual son presentados los planos al espectador. Así, si se pone primero una toma de una multitud que aclama y, a continuación, un primer plano del protagonista, el espectador será llevado, seguramente, a suponer que la multitud está aclamando al protagonista. Si, por el contrario, la toma de la multitud sigue a la del protagonista, el espectador deducirá que el personaje forma parte de la multitud, y que no tiene ningún papel especial.

La mayor parte de los largometrajes está elaborada en tomas realizadas en películas de 16, 35 ó 70 mm (mientras que

las películas de 8 mm y las de super 8 son usadas por los aficionados para las filmaciones realizadas en interiores). Estas medidas se refieren a la dimensión del fotograma sobre la superficie de la película.

En ningún momento es la película original la que pasa a través de la máquina de montaje. Por el contrario, se utiliza una o varias copias del original, llamadas *copias de trabajo*, sobre las que se realizan los cortes y empalmes necesarios para el montaje del filme.

Prescindiendo de sus medidas, las películas son montadas usando algunas técnicas esenciales: en primer lugar se realiza un montaje inicial aproximado, para lo cual el montador "visiona" todas las tomas realizadas para la escena o escenas que desea montar; a continuación, un primer corte aproximado separa las distintas tomas, que son seleccionadas y ordenadas para su posterior ensamblaje, intentando ajustarse al metraje previsto para el filme. Realizado el corte, las dos partes se alinean perfectamente utilizando las perforaciones que se encuentran a los lados de la propia película, y los dos extremos son unidos empleando un adhesivo (antigua-



El montaje representa un momento particularmente importante en la técnica cinematográfica, ya que permite hacer uniones entre pedazos de película cinematográfica o magnética con el fin de modificar el significado de alguna

escena o eliminar los daños consiguientes a la rotura de una película (entonces se habla de *empalme*). En todos estos casos asume una importancia esencial la mesa de montaje o *moviola*, que permite localizar y empalmar puntos diversos de la película.

En el cine profesional la mesa de montaje tiene de cuatro a ocho platos portafilme emparejados. De este modo se puede efectuar el montaje simultáneo de las imágenes y de la banda sonora, registrada en una cinta magnética perforada,

así como el control en rápida sucesión de dos o tres partes del filme situadas en distintos platos. La estantería de la derecha (nos referimos a la figura de aquí arriba) permite tener a mano la ensambladura en seco y las bobinas.

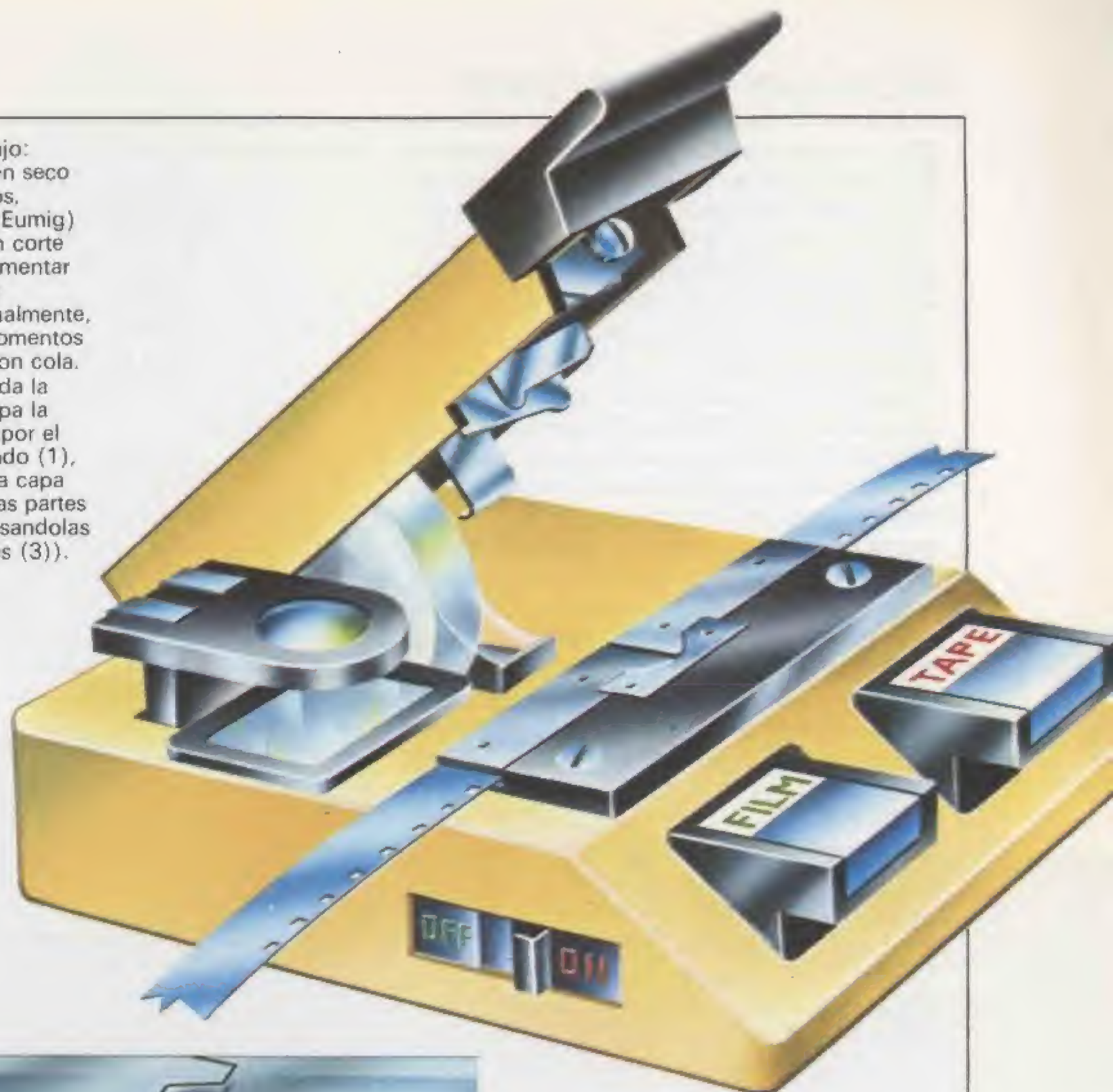
mente las uniones se hacían utilizando una resina; sin embargo, la cinta adhesiva transparente resulta más simple de usar y su empleo está hoy en día generalizado). Los pedazos de película son unidos uno tras otro hasta montar la escena. Llegado este momento, puede ser proyectada y cortada nuevamente si el montador o el director no están satisfechos.

Proyecciones y cortes El montador proyecta la parte montada del filme, primero en una pequeña sala de proyección donde toma las anotaciones necesarias para "afinar" el montaje, que realizará posteriormente examinándola en una máquina de montaje vertical (llamada *moviola*) o pupitre de mezclas (entre las más comunes están el Kerns y el Steenbecks, cuyos nombres proceden del de sus fabricantes). Estas máquinas de montaje pueden contener y proyectar la película y su banda sonora, que siempre se mantiene separada hasta que el filme es montado definitivamente para su distribución a las salas cinematográficas comerciales.

La película puede ser proyectada hacia adelante, hacia atrás, a velocidad normal, lenta o rápida. Esto hace que la selección de las tomas y de los fotogramas sea más sencilla. Cuando el montador revisa el metraje, busca un punto de la acción en el cual se pueda efectuar el cambio de un ángulo de toma a otro. Localizado el fotograma, la copia de trabajo es examinada en una segunda máquina de montaje a fin de encontrar el fotograma más apropiado sobre el que efectuar el corte.

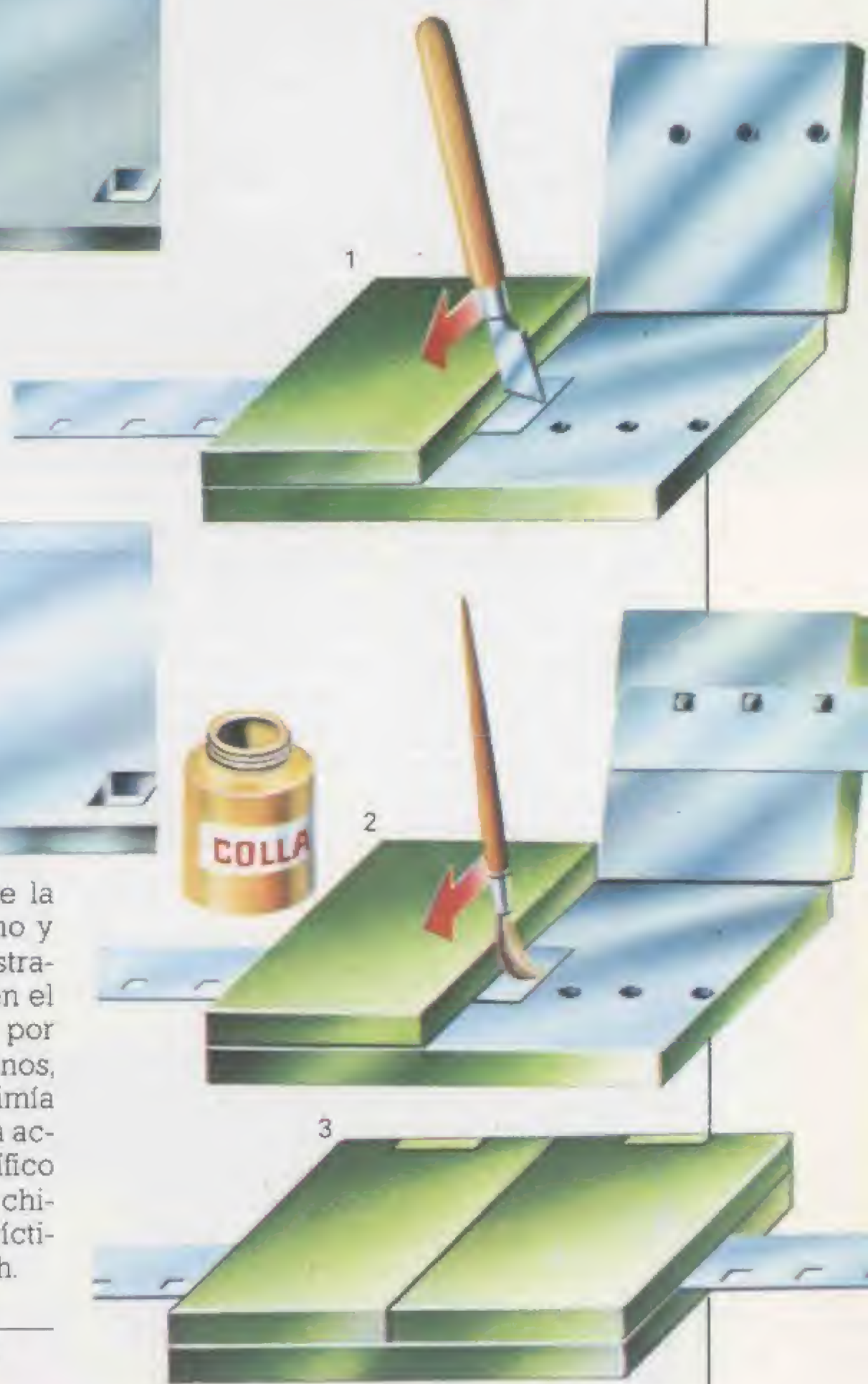
El montador, al mismo tiempo que trabaja sobre la película, interviene también sobre la banda sonora que la acompaña, de modo que las dos estén en perfecta sincronía. (Un filme está sincronizado cuando su sonido corresponde perfectamente a la acción). A medida que se va realizando el montaje a través de las escenas (labor que requiere generalmente cerca de 10 semanas) y durante las diferentes fases sucesivas al proceso de producción (en las que se invierten, a menudo, de 6 a 10 semanas) se hacen muchos retoques en la película. Las escenas dañadas se eliminan, los sonidos que distraen la atención o que resultan equivocados (el sonido del motor de un aeroplano en una escena ambientada a mediados del siglo XVI, por ejemplo) son sustituidos por sonidos más apropiados, las locuciones o sonidos que no pueden ser escuchados o que, por diversas razones, necesitan ser cambiados son doblados (*looped*) en las salas de locución, donde el actor relee el nuevo texto, mientras observa la proyección de la película con el fin de sincronizar perfectamente la imagen con el sonido, y finalmente se añade la música al filme. Los diversos elementos sonoros son, por último, registrados conjuntamente para crear el "sonido" que se une a la imagen en la copia final obtenida en el laboratorio. De esta copia final o *married print* se realizan otras copias para ser distribuidas a las salas de proyección comerciales.

De arriba a abajo: empalmadora en seco para aficionados, empalmadora (Eumig) que practica un corte que permite aumentar la superficie de encolado, y, finalmente, los distintos momentos del empalme con cola. (Una vez cortada la película, se respa la zona de unión por el lado emulsionado (1), se extiende una capa de cola (2) y las partes se juntan, prensandolas en las plaquillas (3)).



Un montaje perfecto, por medio de la manipulación de espacio, tiempo, ritmo y trama, puede conseguir escenas magistrales. La famosa secuencia del asesino en el filme *Psicosis* de Alfred Hitchcock, por ejemplo, estaba compuesta de 70 planos, todos ellos muy breves, lo cual imprimía una sensación de rapidez y tensión a la acción, y montados de modo tan magnífico que el espectador no vio jamás el cuchillo del asesino tocar el cuerpo de la víctima, papel interpretado por Janet Leigh.

Véase Cámara y proyector cinematográficos; Cinematografía; Sonora, banda



Montaje en cadena

El montaje en cadena, que permite la fabricación a gran escala y con un costo relativamente pequeño de gran cantidad de mercancías estándar, ha ido progresivamente desbancando los tradicionales métodos de producción basados en la fabricación —a veces artesanal— de objetos uno por uno.

Las primeras referencias de que disponemos sobre la utilización en Europa de este nuevo sistema de producción datan del siglo XVI, cuando los navieros venecianos acumulaban partes prefabricadas de distintas naves con el fin de poderlas montar rápidamente en caso de apuro. A principios del siglo XX, el inventor norteamericano F. W. Taylor estudió los diversos métodos de producción y propuso un nuevo y revolucionario sistema "científico" de fabricación en su tratado *The Principles of Scientific Management* (*Principios de la organización científica*).

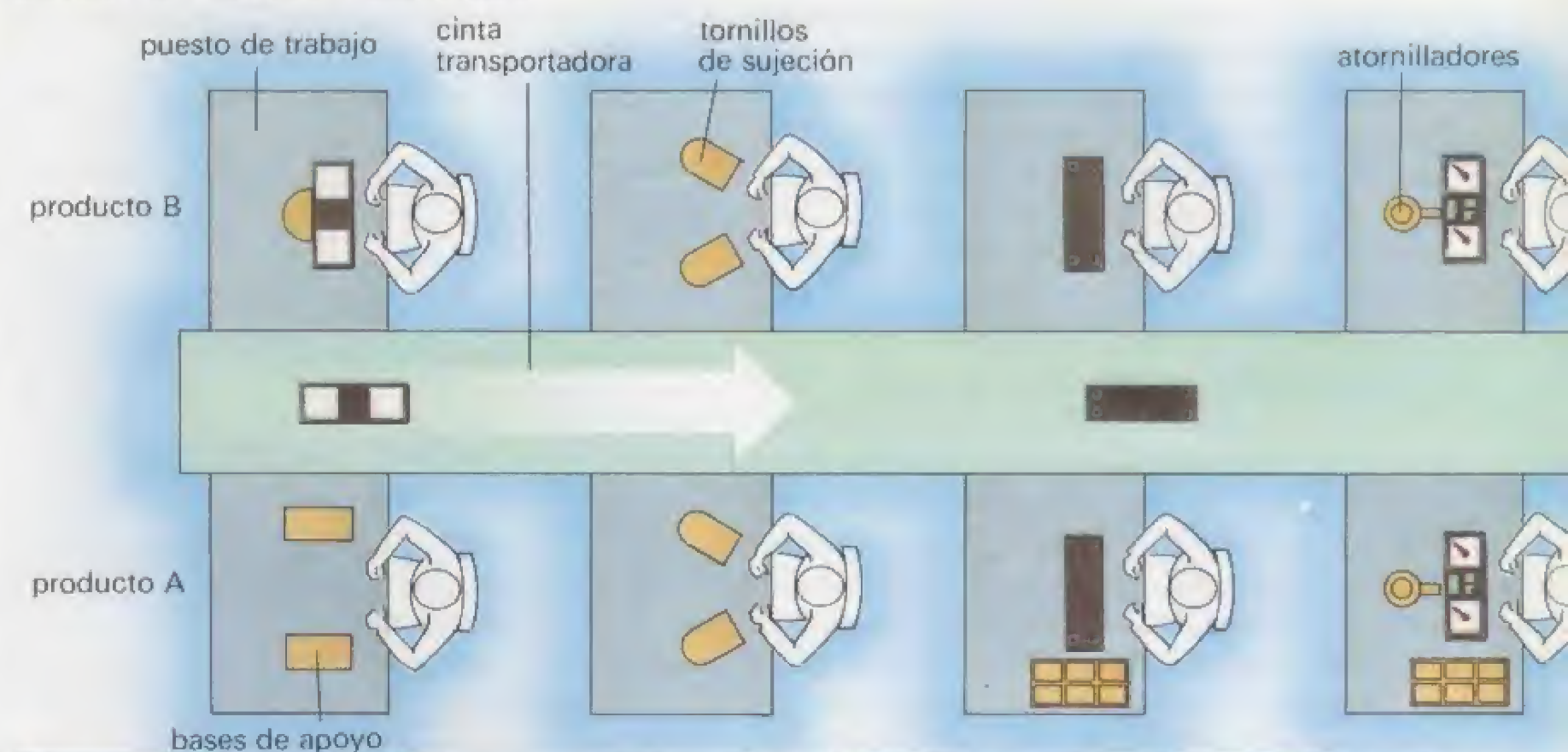
Elementos principales En función del artículo que se desee fabricar, podrá utilizarse uno de los diversos tipos de cadena de montaje existentes, aunque sustancialmente todos ellos se basan en un procedimiento común.

El elemento principal de una cadena de montaje lo constituye la proyección anticipada de las distintas etapas en que se divide la producción. Esto significa que tanto las diversas partes que forman el producto como la sucesión en que éstas deben ser montadas han de ser proyectadas y establecidas previamente, es decir, antes de que la producción se inicie. Una vez hecho esto, el primer componente fabricado se hace pasar —manualmente o por medios mecanizados— de sección en sección; en cada una de estas secciones se realiza una operación específica en la forma y tiempo establecidos.

Esto garantiza que la producción final tenga una calidad uniforme, al contrario de lo que sucedía con el antiguo sistema de producción en que se fabricaba un artículo cada vez, lo que daba lugar a que, por lo general, tanto la cantidad como la calidad del producto final variasen según la rapidez y la habilidad del operario. En el montaje en cadena, cada componente del producto fabricado tiene la misma calidad, ya que tanto el método con que se elabora como el tiempo que se le dedica están programados y son idénticos para todos y cada uno de los artículos.

El método de montaje en cadena reduce considerablemente la cantidad de mano de obra, así como su cualificación, permitiendo la producción de mayor cantidad de mercancías de calidad con respecto a cualquier sistema anterior de producción. Dado que el equipamiento e instrumental necesarios para la puesta en funcionamiento de una cadena de montaje resultan muy caros para el fabricante, sólo con una producción a gran escala es posible mantener bajos los precios de venta al consumidor. En consecuencia, toda la investigación que se desarrolla con el fin de mejorar o inventar nuevos

CADENA DE MONTAJE TRADICIONAL



Veglia-Borletti

métodos de montaje en cadena tiene como objetivo fundamental el aumento de la velocidad de producción.

Cadenas de montaje instrumentalizadas y progresivas Con ocasión de la Exposición Universal de París de 1900, se presentaron las nuevas máquinas de elaboración en acero rápido. Estas máquinas, automatizadas por lo general, realizaban mecánicamente y con gran precisión los diversos trabajos que antes, con las tradicionales herramientas, eran fruto de una costosa labor. Estaban equipadas con instrumentos protectores que servían para manipular los mandos y dirigir los distintos mecanismos de corte, fresa, etcétera.

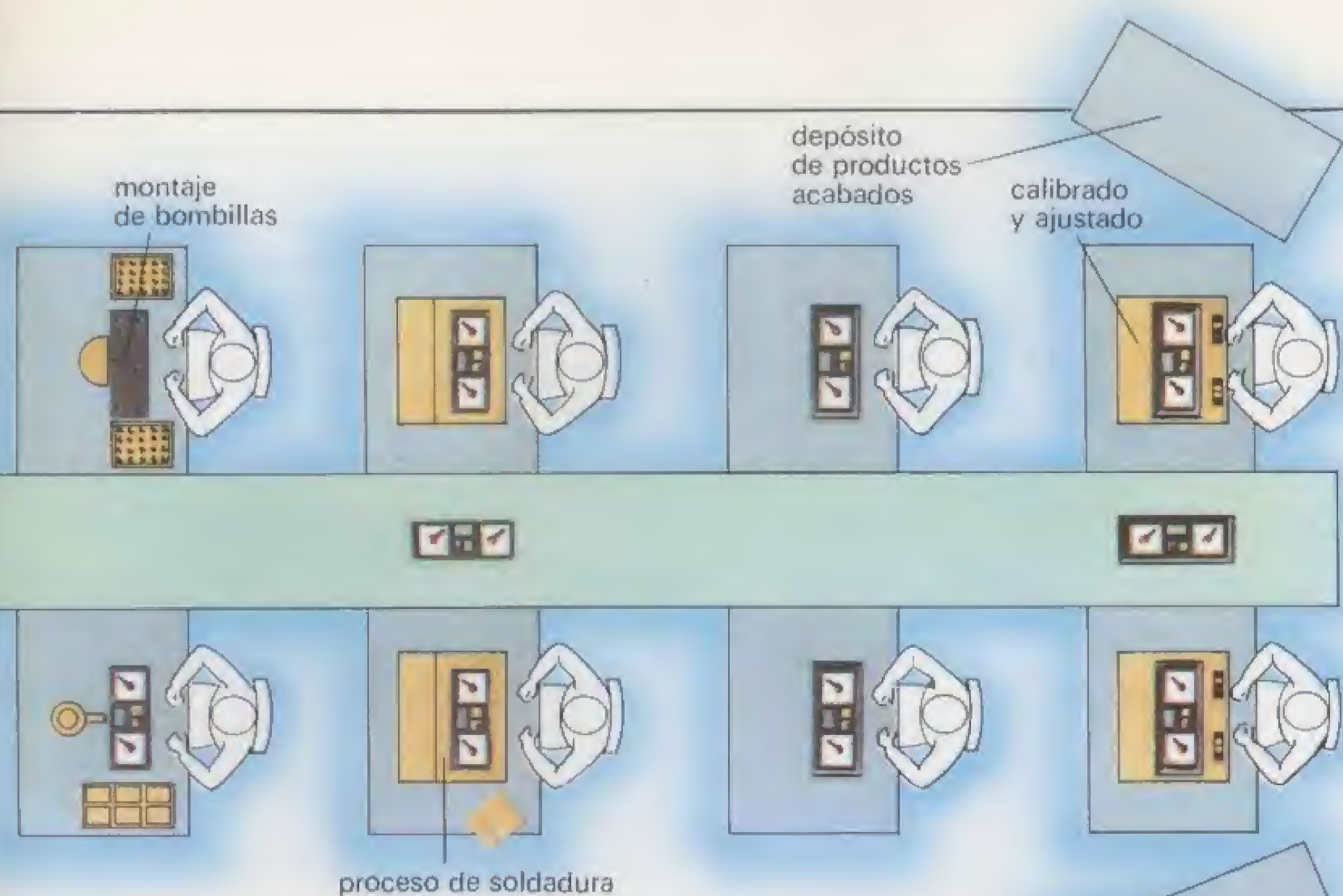
En este tipo de cadenas *instrumentalizadas*, los útiles de elaboración en acero rápido son manipulados por un operario que permanece quieto, sentado o de pie, frente a la máquina. Cerca del operario, y al alcance de su mano, se sitúan grandes contenedores donde se almacenan los materiales y componentes que van a ser elaborados; de esta manera se evitan desplazamientos innecesarios del operario, y se gana efectividad. Por lo general, este método exige una mayor habilidad y pro-

fesionalidad de los operarios, ya que deben realizar diversas operaciones sobre una serie de artículos y componentes muy similares. En bastantes procesos, como en la fabricación de automóviles, se sigue utilizando este sistema.

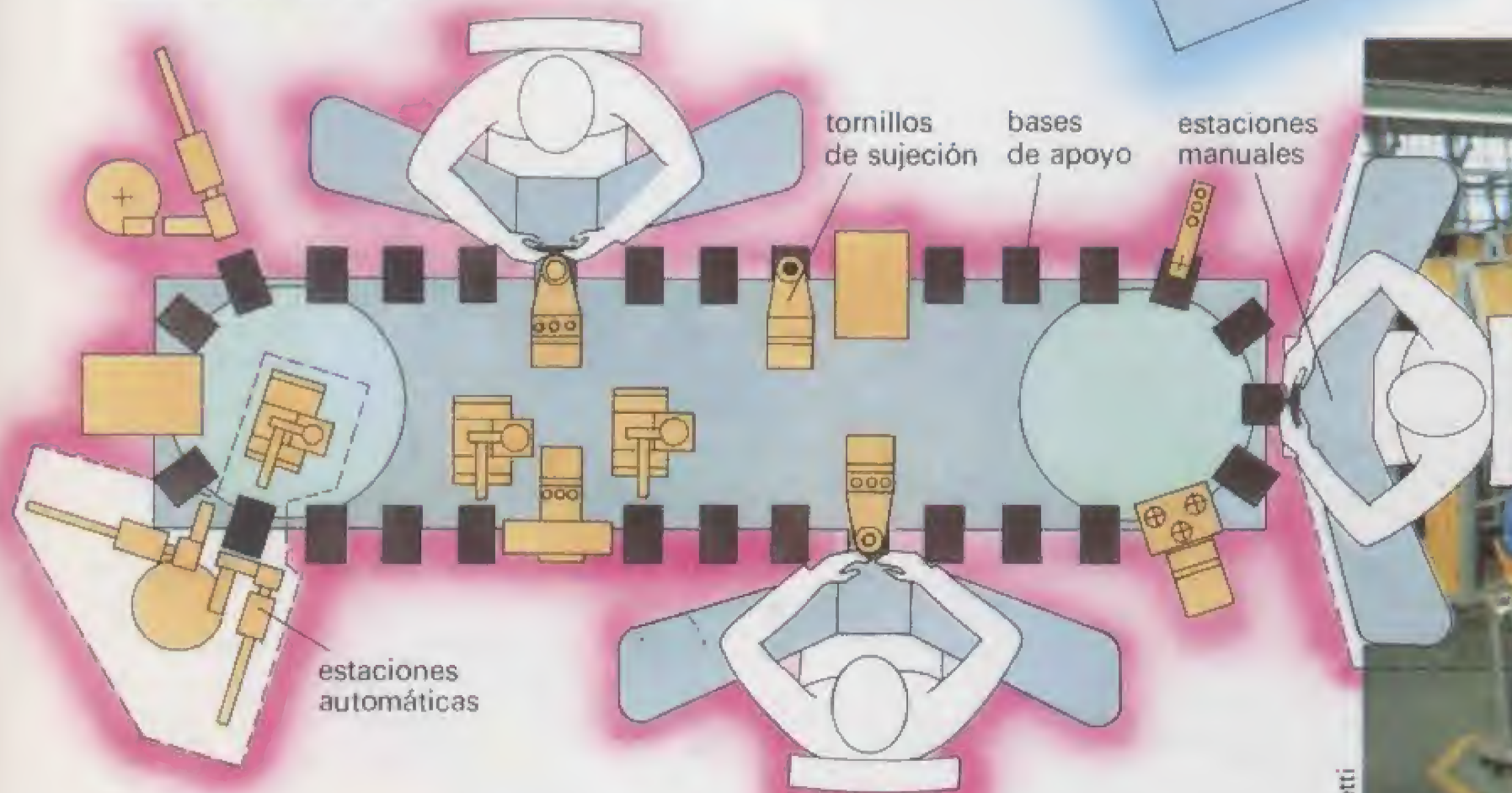
En una cadena de montaje *progresiva* se realiza el mismo tipo de operaciones descrito anteriormente y la única particularidad estriba en que cada operario se limita a cumplir una función específica, como puede ser el colocar en posición los instrumentos y mandos de la máquina cuando el artículo le llega manualmente a lo largo de la cadena de montaje. Este tipo de cadena progresiva aumenta la velocidad de producción y permite la utilización de mano de obra menos especializada.

Cadena de montaje automática sobre cintas transportadoras En este tipo de montaje en cadena, tanto el producto como las distintas partes de elaboración que lo constituyen se hacen pasar de un trabajador a otro mediante cintas transportadoras mecánicas.

Este método es potencialmente más rápido, aunque resulta poco flexible, ya que tiene que estar proyectado para la fabri-



MAQUINA DE MONTAJE SEMIAUTOMATICO



cación de un artículo específico. Además, tiene el inconveniente de que si por casualidad se produce un fallo en cualquier punto de la cadena, el proceso entero puede verse comprometido.

Para aquellos artículos que se fabrican en grandes cantidades (por ejemplo, las bombillas) se han ideado y construido máquinas capaces de funcionar a velocidades muy por encima de las que puedan alcanzar los seres humanos. En este tipo de cadenas, todas las operaciones se realizan automáticamente y sólo intervienen dos o tres personas, que vigilan el funcionamiento general. Las máquinas reciben e introducen las piezas en mecanismos muy precisos y sincronizados, que las recogen y las colocan en el punto exacto donde van a ser elaboradas. Una vez finalizado este proceso, las extraen y las envían a la siguiente fase de elaboración. Todo el instrumental electrónico, desde las radios de transistores hasta los elementos de elaboración, se fabrican de esta manera.

Trabajo en grupos Los sistemas de producción en cadena han permitido poner al alcance de cualquier persona artículos que en el pasado eran sólo acce-

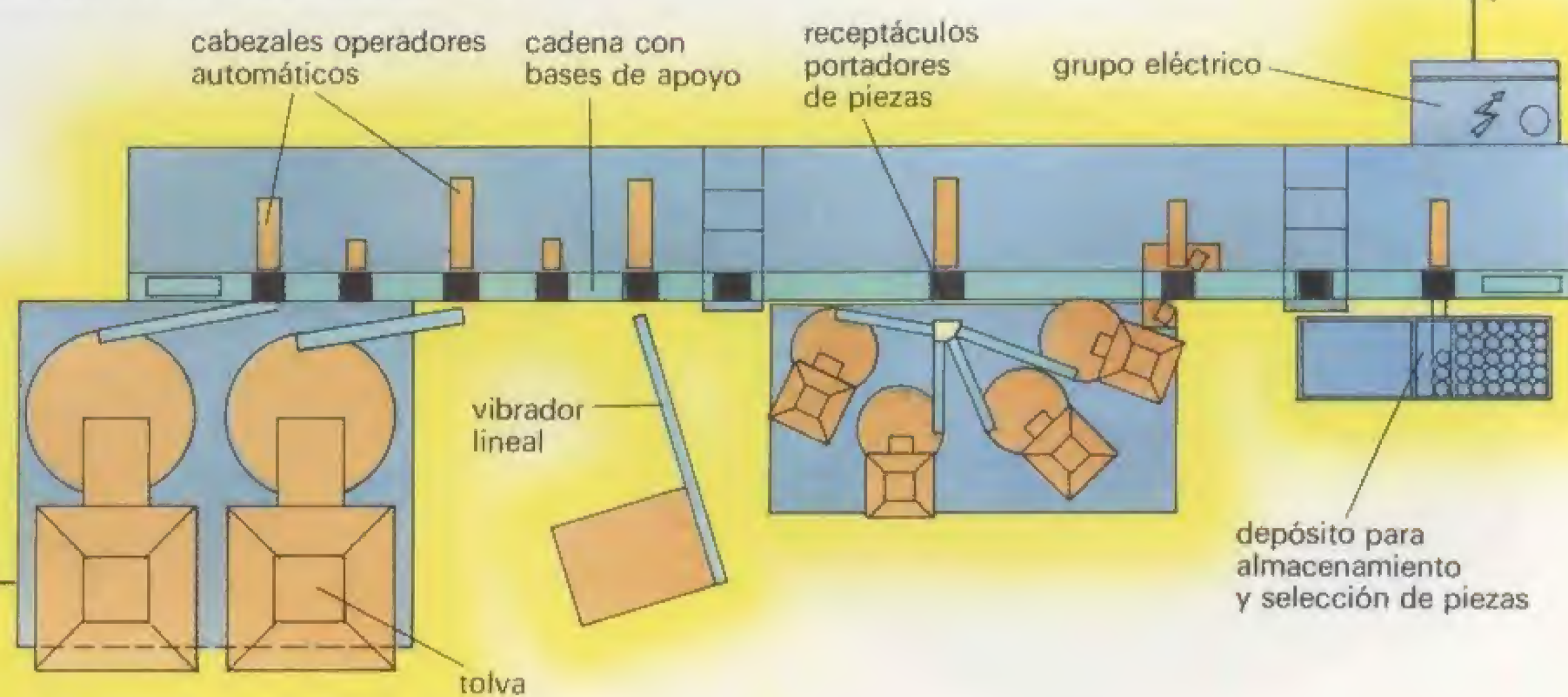
En los dibujos tres cadenas de montaje con diverso grado de automatización. Arriba, una cadena tradicional en que todo el trabajo es desarrollado por operarios humanos; la cinta transportadora central acerca los componentes y piezas a las diversas estaciones de elaboración donde se encuentran los operarios. El ritmo

de movimiento es suficiente como para permitir que el operario trabaje cómodamente y sin excesivas prisas. Algunas de las estaciones están dedicadas a labores puramente manuales, mientras que otras requieren de utensilios e instrumentos. Sin

embargo, es siempre el operador el que debe retirar la pieza de la cinta transportadora y colocarla sobre la mesa en la posición justa para poder trabajar. Sobre estas líneas, una cadena en la que ciertas operaciones, como la carga y descarga de la pieza, están

automatizadas. Abajo, una cadena de montaje totalmente automatizada. En las fotografías, cadena de montaje tradicional (página anterior) y línea semiautomática, ambas dedicadas a la fabricación de salpicaderos para coches.

MAQUINA DE MONTAJE AUTOMATICO



sibles a una minoría. Sin embargo, como contrapartida, el trabajo se ha convertido en algo monótono y deshumanizado, al mismo tiempo que ha provocado en gran parte la desaparición del trabajo artesanal.

El objetivo es ahora buscar nuevos métodos que tengan en cuenta el respeto a la dignidad humana de los trabajadores. En algunas fábricas modernas se utiliza el trabajo en grupos o cuadrillas. En la práctica, se siguen los mismos métodos de montaje, pero en vez de encomendar el mismo trabajo repetitivo a un solo operario se emplean cuadrillas de 15-25 operarios, cada uno de los cuales está familiarizado con las distintas tareas de montaje, lo que permite el intercambio de puestos y de funciones. Se espera que, en el futuro, la introducción de robots en todas las fases del montaje permita la liberación del hombre de este tipo de tareas ingratas y monótonas.

Véase **Automatización**



Veglia-Borletti

Montaña

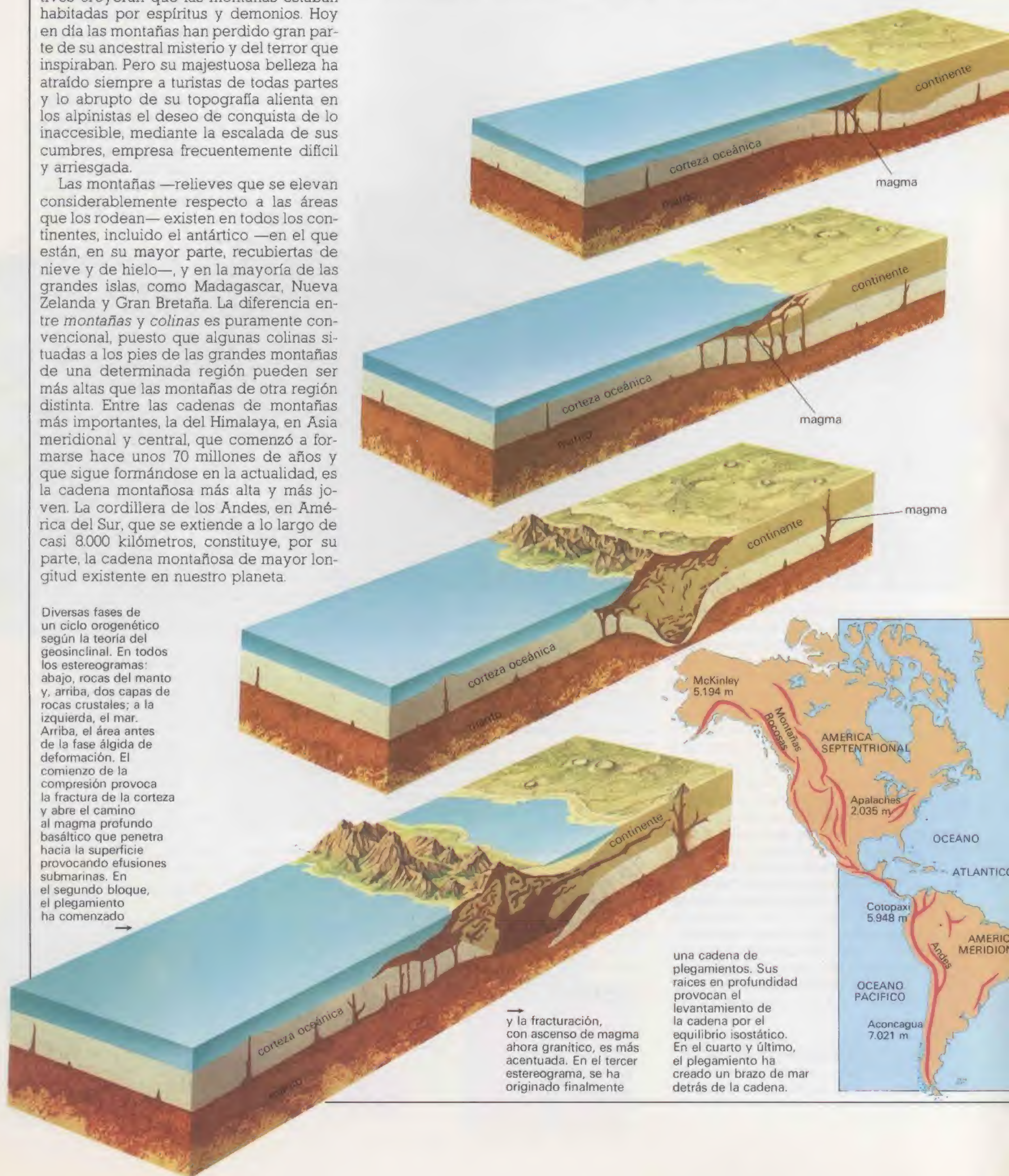
Con su imponente presencia en todo el mundo, las montañas constituyen una prueba majestuosa de las extraordinarias fuerzas que deforman la superficie de la Tierra. No debe sorprendernos que los antiguos griegos creyesen que el monte Olimpo era el lugar de residencia de los dioses, ni que muchos pueblos primitivos creyeran que las montañas estaban habitadas por espíritus y demonios. Hoy en día las montañas han perdido gran parte de su ancestral misterio y del terror que inspiraban. Pero su majestuosa belleza ha atraído siempre a turistas de todas partes y lo abrupto de su topografía alienta en los alpinistas el deseo de conquista de lo inaccesible, mediante la escalada de sus cumbres, empresa frecuentemente difícil y arriesgada.

Las montañas —relieves que se elevan considerablemente respecto a las áreas que los rodean— existen en todos los continentes, incluido el antártico —en el que están, en su mayor parte, recubiertas de nieve y de hielo—, y en la mayoría de las grandes islas, como Madagascar, Nueva Zelanda y Gran Bretaña. La diferencia entre *montañas* y *colinas* es puramente convencional, puesto que algunas colinas situadas a los pies de las grandes montañas de una determinada región pueden ser más altas que las montañas de otra región distinta. Entre las cadenas de montañas más importantes, la del Himalaya, en Asia meridional y central, que comenzó a formarse hace unos 70 millones de años y que sigue formándose en la actualidad, es la cadena montañosa más alta y más joven. La cordillera de los Andes, en América del Sur, que se extiende a lo largo de casi 8.000 kilómetros, constituye, por su parte, la cadena montañosa de mayor longitud existente en nuestro planeta.

Diversas fases de un ciclo orogénico según la teoría del geosinclinal. En todos los estereogramas: abajo, rocas del manto y, arriba, dos capas de rocas crustales; a la izquierda, el mar. Arriba, el área antes de la fase álgida de deformación. El comienzo de la compresión provoca la fractura de la corteza y abre el camino al magma profundo basáltico que penetra hacia la superficie provocando efusiones submarinas. En el segundo bloque, el plegamiento ha comenzado

Clasificación Si se clasifican las montañas atendiendo a su disposición geográfica, las que se encuentran aisladas se denominan *picos*. Un conjunto de picos unidos por medio de dorsales forma una *cadena*. Una serie de cadenas constituye un *sistema*, y varios sistemas —que a menudo atraviesan un continente— toman el

nombre de *cordillera* ("cuerda pequeña"). Otro tipo de clasificación se basa, en cambio, en el origen geológico de las montañas, esto es, en los procesos endógenos (debidos a las fuerzas internas del planeta) y exógenos (debidos a la acción de los agentes superficiales) que han dado lugar a su formación.



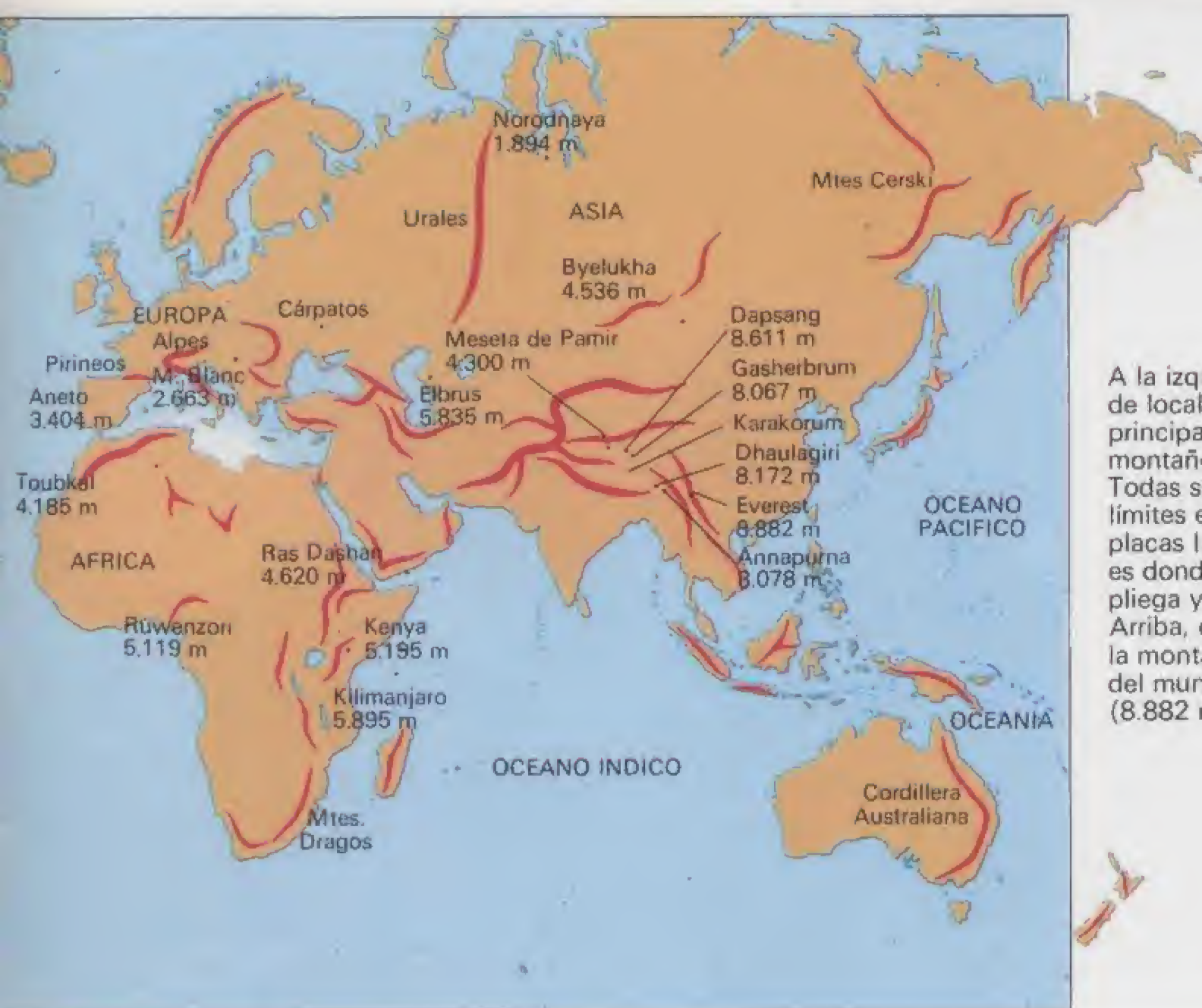
y la fracturación, con ascenso de magma ahora granítico, es más acentuada. En el tercer estereograma, se ha originado finalmente

una cadena de plegamientos. Sus raíces en profundidad provocan el levantamiento de la cadena por el equilibrio isostático. En el cuarto y último, el plegamiento ha creado un brazo de mar detrás de la cadena.

El proceso geológico formador de montañas más espectaculares es, sin duda, el vulcanismo. Volúmenes enormes de lavas y materiales fragmentarios son arrojados a la superficie, apilándose y formando así "edificios" volcánicos de dimensiones espectaculares. Ejemplos de esto son: el Kilimanjaro, en África; el Fuji Yama, en Japón; y el Teide, que se eleva unos 7.000 metros sobre el fondo del océano Atlántico, en las islas Canarias.

Aunque la formación de un volcán es un hecho geológicamente breve, que incluso a veces se desarrolla a escala del tiempo humano, la actividad volcánica en una región puede ser mucho más larga, prolongándose durante millones de años. Así, mientras el pequeño volcán Teneguía, en la isla de la Palma (Canarias), se formó en el lapso de pocos días, la actividad volcánica, subaérea en estas islas comenzó hace unos 20 millones de años. La formación de volcanes a lo largo de este proceso y la erosión subsiguiente de los mismos se traduce en montañas de formas variadas (según la edad de la erupción, el tipo de la misma y la intensidad de la acción erosiva posterior).

Las montañas de bloques son el resultado del levantamiento de bloques corticales rígidos a favor de fallas de gran salto, bien por la acción de fuerzas distensivas o compresivas. En España, el caso más espectacular es el Sistema Central, que con una longitud de unos 700 kilómetros y constituido por rocas antiguas rígidas (granitos y rocas metamórficas de más de 250 millones de años de antigüedad) se ha levantado durante el período Terciario del orden de 10 o más kilómetros con relación a su prolongación bajo las cuencas, rellenas de sedimentos recientes, del Tajo y del Duero.



A la izquierda, mapa de localización de las principales cadenas montañosas del Globo. Todas se sitúan en los límites entre grandes placas litosféricas, que es donde la corteza se pliega y se levanta. Arriba, en la fotografía, la montaña más alta del mundo, el Everest, (8.882 metros).

Montañas de plegamiento La forma más corriente como se han originado los sistemas montañosos es mediante el intenso plegamiento y levantamiento de los depósitos acumulados en extensas cuencas sedimentarias. Estas últimas corresponden a las plataformas continentales, donde los sedimentos —procedentes de la erosión de los continentes, transportados por los ríos y distribuidos por el oleaje y las corrientes— se acumulan a lo largo de millones de años formando depósitos de hasta 15.000 metros de espesor. Estos sedimentos se pliegan interiormente al "cerrarse" un océano debido al movimiento convergente de dos placas y colisionar las masas continentales. El plegamiento va seguido del levantamiento sobre el nivel del mar, debido a la búsqueda del equilibrio gravitatorio por parte de la cadena plegada. Esto explica la presencia de rocas sedimentarias de origen marino incluso en las montañas más elevadas. Así, en la cima del monte Everest, en el Himalaya, a 8.882 metros de altitud, se encuentran capas de caliza marina.

Muchas cadenas más antiguas, como la de los Apalaches, en Estados Unidos, fue-

ron originalmente bastante más elevadas que hoy día, pero la erosión ha reducido notablemente su altitud en el transcurso de millones de años.

La formación de cadenas de plegamiento recibe el nombre de *orogénesis*. A veces, la estructura interna de la cadena es simple, como en el caso del Jura, entre Francia y Suiza, pero lo normal es que sea extraordinariamente compleja. Esto se debe a la superposición, durante la misma orogénesis, de distintos episodios de plegamiento y fractura (fallas, cabalgamientos, etc.), así como al emplazamiento en profundidad de enormes masas de magma granítico, llamadas *batolitos*, y a las modificaciones químicas y mineralógicas de las rocas por efecto del metamorfismo. Casos de cadenas de plegamiento muy complejas los constituyen los Alpes y el Sistema Bético de la península Ibérica.

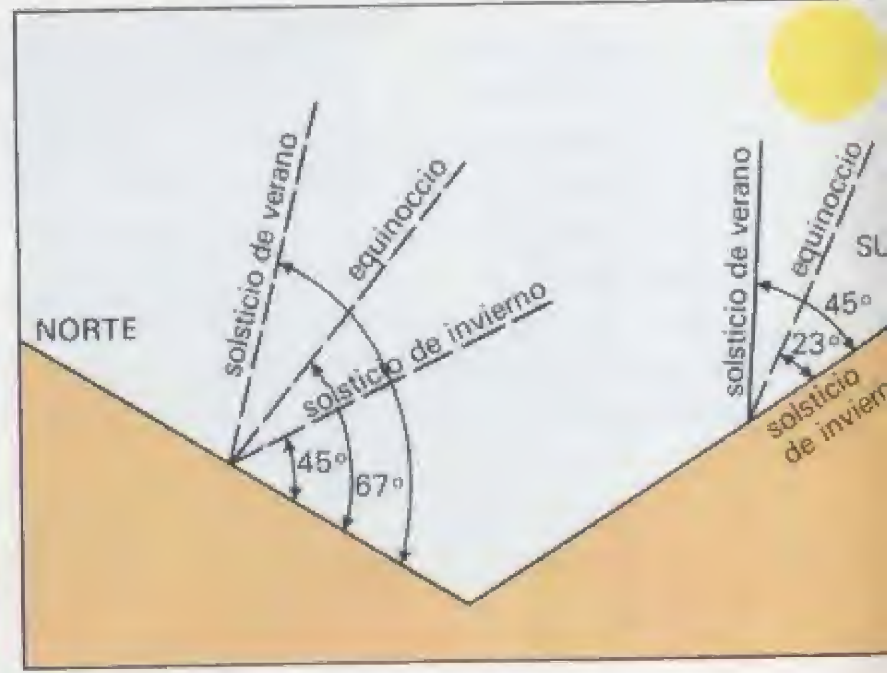
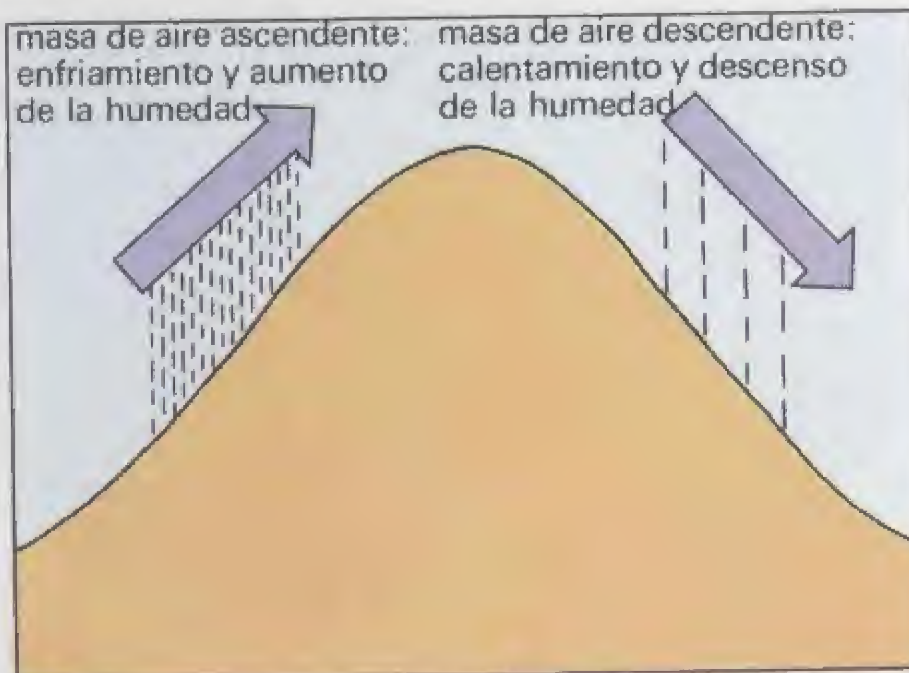
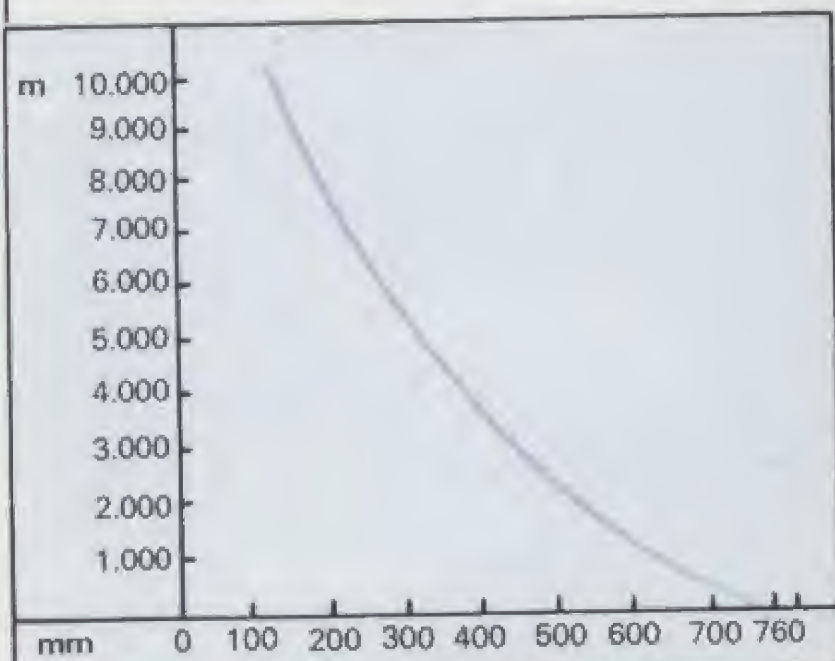
En el transcurso de los últimos cien años los científicos han elaborado múltiples teorías sobre las causas de la orogénesis. Entre dichas teorías destacan: la de las corrientes de convección en el manto infracortical; la de los geotumores u ondulaciones de gran radio provocadas por fenómenos geoquímicos en la corteza te-

mina *límite de la vegetación arbórea*, mientras que la altitud por encima de la cual la nieve no se funde de un invierno a otro se llama *línea de nieves perpetuas*. Ambos límites son variables, dependiendo de las temperaturas anuales, la cantidad de precipitaciones, la exposición al sol y a la luz, y la latitud. Por ejemplo: cerca del ecuador, la línea de nieves perpetuas está a unos 5.400 metros de altitud, mientras que en la Antártida o en Groenlandia puede alcanzar el nivel del mar.

Puesto que las nubes tienden a formarse en las cimas de las montañas, éstas constituyen a menudo verdaderos controladores del clima a una escala regional. Sin embargo, el gran alcance de su influencia en el clima a nivel mundial se debe a su función como barrera. Así, la cordillera asiática, formada por las cadenas del Himalaya, del Hindukush y del Tianchan, impide el paso de los vientos templados y húmedos procedentes del océano Índico, de modo que enormes extensiones de Asia central, al otro lado de la muralla montañosa, padecen un clima seco y frío del que es fruto uno de los mayores desiertos de la Tierra, el desierto de Gobi. Por el contrario, la India es calurosa y, al

igual que otros países surasiáticos, sufre el azote estacional de las lluvias torrenciales: los monzones. Igualmente, la parte suroccidental de Estados Unidos tuvo un paisaje de tipo tropical hasta que el levantamiento de la Sierra Nevada, bordeando la costa pacífica, interrumpió el curso de los vientos procedentes del océano Pacífico y transformó la región en una tierra semiárida y desértica.

Influencia en la vida del hombre Epocas de crecimiento vegetal más breves, menor cantidad de oxígeno en el aire y temperaturas extremas hacen muy difícil la vida a altitudes elevadas. En efecto: el aire enrarecido, pobre en oxígeno, es inadecuado para el normal funcionamiento del organismo humano sin una adaptación previa. Los ejemplos de adaptación mejor conocidos son los de las poblaciones de los Andes. Para llegar a tener el porcentaje necesario de oxígeno en la sangre, el organismo de las gentes que allí habitan aumenta el número de glóbulos rojos, su tasa de hemoglobina y la capacidad de la caja torácica, así como el volumen de sangre en circulación. Estas son algunas de las razones que explican la dificultad



restre; y la del enfriamiento general de la Tierra, también llamada *hipótesis de la contracción*. Sin embargo, ninguna de estas teorías lograba explicar todas las manifestaciones distintas del proceso de formación de las montañas.

En estos últimos años, la *teoría de la deriva de los continentes*, explicada por medio de la tectónica de placas, ha obtenido un enorme auge y credibilidad entre los científicos. Según esta teoría, los continentes estarían en condiciones de desplazarse lateralmente transportados sobre enormes placas litosféricas, y las cadenas montañosas se formarían sobre sus bordes como resultado de esta dinámica. Ejemplos muy ilustrativos son el de los Andes, que se encuentran en el borde occidental de América del Sur, y el del Himalaya, resultante de la colisión del continente asiático con la India.

Condiciones climáticas Muchas montañas son tan altas que están permanentemente cubiertas de nieve, no existiendo ninguna forma de vida, vegetal o animal, de importancia. La altitud por encima de la cual ya no crece ningún árbol se deno-

En la foto puede apreciarse cómo cambia el ambiente según la altitud y se repiten las características de los distintos paisajes: abajo, el de un bosque frío; en medio, el de la tundra; arriba, el del desierto. En los tres esquemas de arriba: a la izquierda, diagrama de la variación de la presión atmosférica con la altura. Con la presión disminuye también la presión parcial del oxígeno, lo que dificulta la respiración a cotas elevadas. En el centro, la distinta pluviosidad a ambos lados de una montaña o de una cadena montañosa: cuando el aire asciende, se enfría y provoca lluvias; al descender, se calienta y es más seco. A la derecha, la distinta inclinación de las dos vertientes de un valle las somete a diferente grado de insolación.





Dr. Pellegrini



En animales como el rebeco y la cabra montés, las pequeñas dimensiones de sus glóbulos rojos y la mayor cantidad de los mismos aumentan la superficie y, en consecuencia, la capacidad de fijar el oxígeno. A este hecho

se debe su adaptación a la vida en altitud. También las plantas tienen una gran capacidad de adaptación: a veces, para aprovechar al máximo su breve verano, se preparan con anticipación. Así, muchas plantas

preparan sus brotes desde el mismo otoño, contando con la presencia de la nieve para preservarlas del hielo invernal. En primavera, cuando la luz empieza a filtrarse a través de la nieve, la vida vuelve a comenzar. Abajo,

un *epilobium* a 4.600 metros; al lado, un *pedicularis* a una cota de 3.100 metros. Las zonas llanas y las pendientes orientadas al sur pueden ser explotadas. Abajo del todo, campos de cultivo a 4.000 metros de altura en Asia.

para la vida del hombre a partir de determinadas altitudes. Como ejemplo podemos señalar la diferencia de densidad de población entre el Bután (15 hab/km²), a los pies del Himalaya, y la cercana llanura de Bengala (193 hab/km²).

Las antiguas rutas comerciales, como el paso de Khyber —única vía por tierra entre Asia Menor y la India y el Pakistán septentrional—, resultan a menudo impracticables durante el invierno. Sólo en este último siglo, gracias a los túneles construidos, se ha hecho posible mantener la circulación durante todo el año en algunas regiones otrora intransitables. El túnel más largo del mundo, el de Simplon, une ferroviariamente Italia y Suiza a través de los Alpes.

Impulsado por los a menudo preciados recursos naturales que guardan en su seno las regiones montañosas, el hombre ha llegado a establecerse a elevadas altitudes, a pesar de las incomodidades que esto significa. Los pueblos mineros de los Andes de Bolivia, Chile y Perú, en los que abundan el cobre, el estaño y el manganeso, se encuentran a una altura comprendida entre los 3.700 y los 4.600 metros, y sus habitantes se enfrentan valerosamente al frío, a los fuertes vientos y a las frecuentes tormentas. Por otro lado, la abundancia de lluvias puede constituir un factor muy favorable, como sucede en los Alpes suizos, donde los campesinos, durante el verano, pueden disponer de exuberantes pastos montañosos para sus vacas, cuya leche, mantequilla y queso resultan así de excelente calidad.

La industria de la madera representa otro recurso importante de las zonas montañosas. La variedad de árboles es muy grande y abarca desde el ébano, la caoba y la tea (de las faldas de las montañas de



Dr. Gaetani



Dr. Gaetani

las zonas tropicales) hasta el nogal, el cedro, el abeto, el pino y la secuoya (de las zonas templadas).

Los cursos de agua montañosos se pueden regular con presas para riegos o bien para generar energía eléctrica o abastecer de agua potable a núcleos muy poblados. Muchas regiones montañosas se han convertido en el refugio veraniego de las personas que buscan un lugar tranquilo, y en centros turísticos para quienes desean hacer excursiones a pie o practicar los deportes de invierno.

Véase **Geofísica; Geomorfología; Tectónica**



Dr. Pellegrini

Mortero

En la era de los sistemas de armas ultracomplejos, el mortero representa un enlace directo con la primitiva tecnología militar de la Edad Media, cuando exploradores y cruzados consiguieron abrirse camino hacia Europa oriental a la conquista de un mundo entonces desconocido. El asedio de una fortaleza enemiga requería la posibilidad de lanzar "bombas" por encima de altas murallas, lo que se conseguía con estas armas.

Hasta el siglo XIX los morteros eran piezas de escasa longitud que disparaban "por elevación". Los calibres eran enormes, alrededor de 400 mm, y la bala, de piedra, pesaba hasta 75 kg. Se usaban

como artillería de sitio, por sus efectos demolidores contra las fortificaciones.

Estructura La tecnología ha dejado anticuada la definición anterior de mortero. El mortero moderno de infantería consiste esencialmente en un tubo ligero de aleación de acero, cerrado por uno de sus extremos. El extremo cerrado, generalmente unido por motivos de estabilidad a una placa base, se coloca sobre el terreno, apuntando hacia arriba con un ángulo variable entre los 45° y los 60°. El proyectil, que tiene en su base la carga de proyección, se hace caer en el interior del tubo (carga por avancarga) y, cuando lle-

ga al fondo, un percutor hace detonar la carga constituida por un propulsor químico. La deflagración repentina y la energía de los gases producidos por el propulsor lanzan el proyectil fuera del mortero con una trayectoria alta hacia arriba. Una vez que el proyectil alcanza el vértice de la trayectoria, por efecto de la gravedad —que recupera su acción sobre la fuerza de inercia— vuelve a caer a tierra, donde hace explosión.

Las dimensiones de los morteros varían notablemente, pero, con respecto a los tipos homólogos de cañones llamados obuses, tienen aquéllos el tubo más corto y no disparan proyectiles de alta velocidad.



En la página siguiente, dos imágenes del mortero ligero Breda de 81 mm. En la fotografía de arriba, el arma completa y dos de sus proyectiles. En la de abajo, el mortero dispuesto para entrar en acción: el proyectil se introduce por la boca y se le deja caer dentro del tubo; el choque del proyectil

contra el percutor, situado en el fondo del tubo, hace detonar la carga de proyección que lleva el proyectil en su parte inferior, y éste es lanzado violentamente a una distancia que puede variar de un mínimo de 75 metros a un máximo de 5.000 metros, siguiendo una trayectoria muy curva.

Mortero ligero Breda, calibre 81 mm. Este arma, que pesa en total 43 kg, puede ser desmontada en tres partes (tubo, placa base y afuste, con pesos respectivos de 14,5, 13 y 15,5 kg) transportables a hombros por tres soldados y es rápida de

armar para entrar en acción. El tubo es de ánima lisa y tiene una longitud de 145,5 cm. En todos los ejércitos modernos el mortero está presente, y es todavía considerado como una de las principales y más eficaces armas de acompañamiento



Además, el interior del tubo del mortero no presenta rayado o estrías helicoidales, como sucede en la mayor parte de los tubos de los cañones, que a su vez se cargan generalmente por la culata, o parte posterior del tubo, mientras que los morteros son de avancarga.

Hasta el siglo XVIII, toda la artillería de sitio presentaba estas características. En la diferenciación de los tipos de tubo que se ha producido a partir de entonces, los morteros han conservado un menor peso, con relación al de los cañones y obuses, a igualdad de dimensiones del proyectil lanzado. Los morteros son discretamente precisos, pero su precisión y alcance de tiro dependen de las dimensiones del arma y de la cantidad de carga propulsora que lleva la base del proyectil.

Empleo Cuando un ejército moderno se empeña en una guerra convencional (no nuclear), las divisiones de infantería —compuestas por soldados provistos de armas ligeras— son apoyadas por grandes piezas de las unidades de apoyo o de cuerpo del ejército. El mortero, en cambio, es un arma ligera fácilmente transportable y sencilla de manejar, que forma parte de la dotación base de la infantería. Algunos grandes morteros, sin embargo, forman parte del armamento de la artillería divisionaria. Pero también los morteros ligeros requieren cierta capacidad de puntería y localización del objetivo basados en el apoyo del radar.

Los morteros se han mostrado particularmente idóneos para las exigencias de la guerra moderna gracias a su peso reducido, a la economía de su empleo y a la capacidad de alcanzar trincheras fortificadas y casamatas. Los morteros típicos de infantería utilizados en los dos conflictos mundiales tenían un calibre de 25 a 81 milímetros y podían lanzar proyectiles de hasta 4 kg de peso a aproximadamente unos 4.000 metros. Tanto las armas como las municiones podían ser transportadas por soldados a pie.

Morteros ligeramente más pesados son menos móviles y pueden exigir el empleo de medios mecanizados para su transporte. Morteros con calibres comprendidos entre 102 y 107 mm son hoy los más utilizados en el mundo occidental. La Unión Soviética y otros países orientales emplean morteros de mayor calibre, que son más parecidos a cañones que a los clásicos morteros de infantería; sin embargo, son más ligeros que las correspondientes piezas de artillería que disparan municiones del mismo calibre. Los ejércitos de los países occidentales no han adoptado estos morteros por cuanto consideran que, en términos de alcance, precisión y rapidez de carga y tiro, los obuses de dimensiones análogas son más eficaces.

Motocicleta

El primer vehículo de motor — conducido por George A. Dyman— que en 1903 logró cruzar el continente norteamericano de costa a costa no fue, como podría pensarse, un automóvil sino una motocicleta. Se trataba de una "California" de un caballo y medio de potencia, con el motor montado en el centro del bastidor y pedales auxiliares, muy parecida a una bicicleta. Cuando, en Albany, se rompió el cigüeñal del motor, Dyman recorrió los últimos 240 km únicamente con su propia fuerza accionando los pedales. El viaje íntegro duró 49 días.

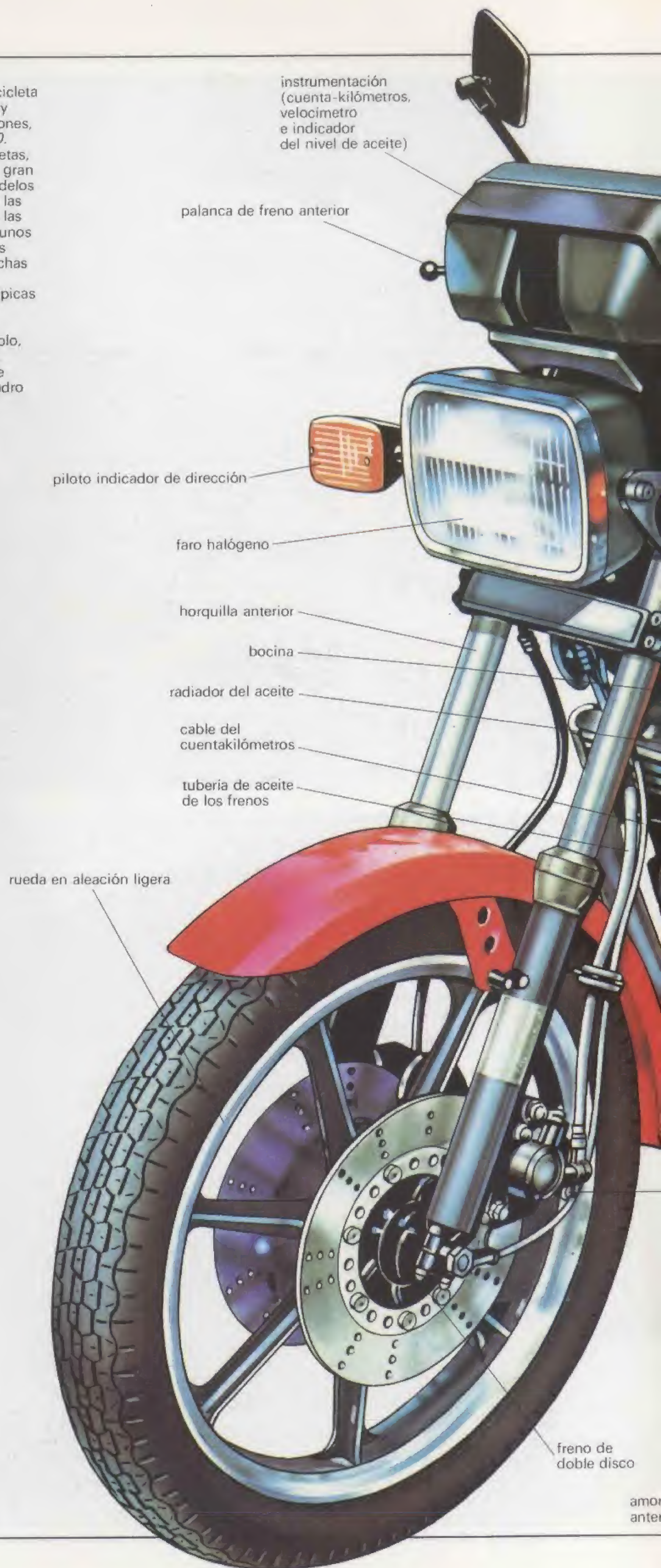
Tortura sobre las traviesas La motocicleta "California" de George Dyman distaba mucho de parecerse a las máquinas que actualmente vemos en las carreteras. Sin embargo, disponía de innegables ventajas. En un Oeste sin carreteras, Dyman hizo buena parte del viaje por el trazado ferroviario, lo que significaba horas de continuo traqueteo sobre las traviesas de los raíles y habla suficientemente de las cualidades de la fuerte y sencilla motocicleta que sobrevivió bien a dicha tortura. Cuando Dyman tuvo que sustituir los radios doblados de las ruedas, lo hizo con útiles que llevaba consigo. Desde entonces las motocicletas son mucho más complicadas y seguramente hoy no habría podido hacer esa misma reparación en caso de necesidad.

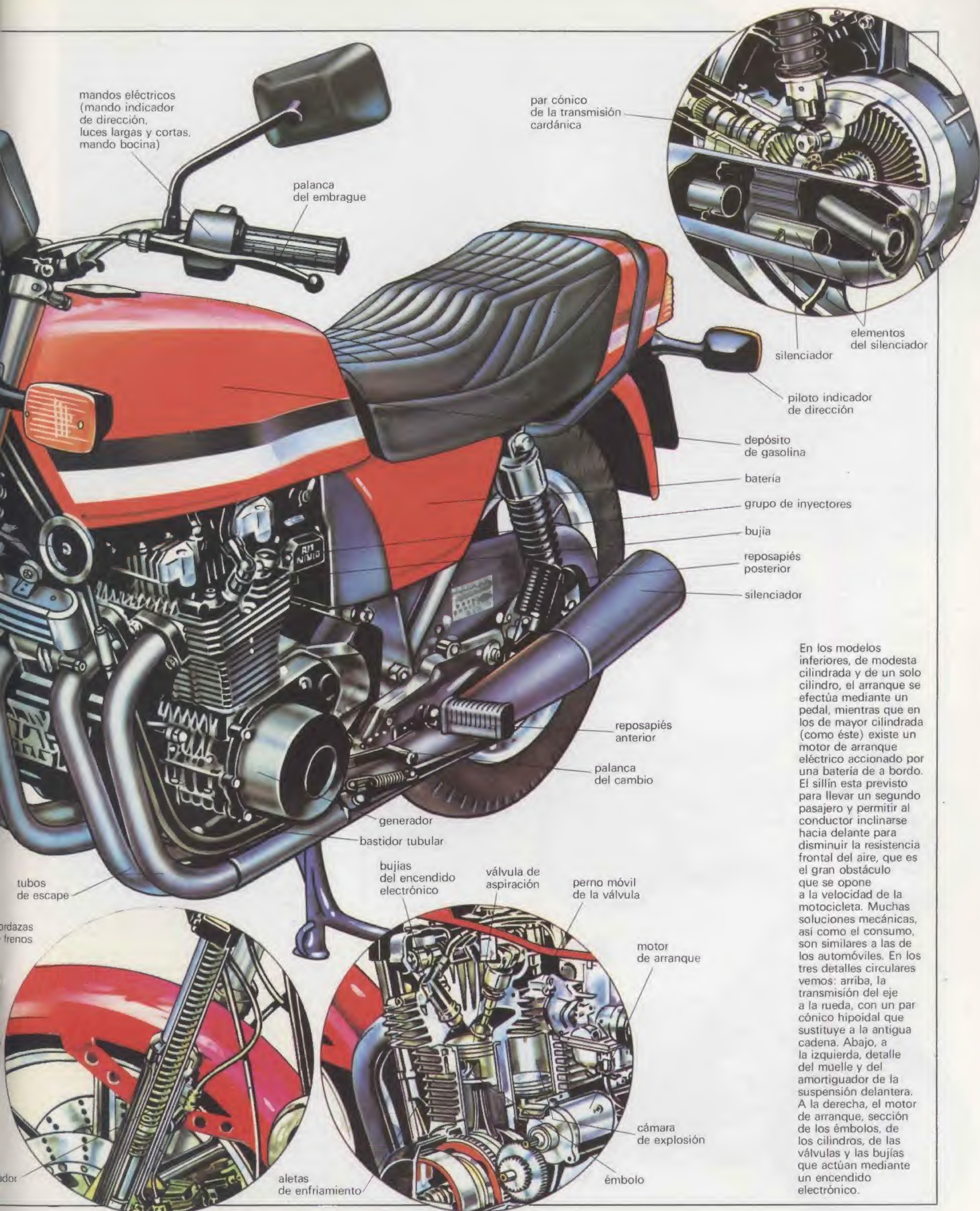
Probablemente el mayor adelanto llevado a cabo para que las motocicletas sean un medio de transporte más cómodo haya sido la invención, en los años treinta, de la horquilla oscilante en la rueda posterior. Una casa constructora alemana, la BMW, fue de las primeras en reconocer que una rueda posterior que pudiera absorber los traqueteos debidos a la carretera, combinada con un árbol de transmisión que pudiese sustituir la ruidosa y peligrosa cadena, aumentaría tanto el confort como la seguridad.

Actualmente las motocicletas se clasifican en cuatro tipos fundamentales: *motocicletas de turismo*, que generalmente son grandes y potentes máquinas ideadas para circular por carretera; *motocicletas polivalentes*, aptas tanto para recorridos en carretera como para recorridos en campo "a través" de mediana dificultad; *motocicletas todo-terreno*, adecuadas para campo "a través", especialmente difícil, en carreras de motocross y de duración; *motocicletas ligeras*, que comprenden los *scooters* y los ciclomotores, medios de transporte populares y eficaces.

La ola de motocicletas japonesas Después de la II Guerra Mundial, con el desarrollo de la industria motociclista japonesa, ha aumentado la popularidad de este medio de transporte. Sin estar sujetos a diseños tradicionales, los japoneses han introducido novedades —tanto en el estilo como en la ingeniería— que han cautivado la fantasía de personas hasta entonces indiferentes o que no habían tomado en consideración el motociclismo.

En la ilustración vemos una motocicleta de gran potencia y elevadas prestaciones, la *Kawasaki-1100*. Muchas motocicletas, sobre todo las de gran potencia, son modelos intermedios entre las de competición y las que deberían ser unos cómodos modelos de turismo. En dichas motocicletas se utilizan muchas típicas soluciones automovilísticas. Nótese, por ejemplo, los grandes faros, los indicadores de dirección y el cuadro de instrumentos.





En los modelos inferiores, de modesta cilindrada y de un solo cilindro, el arranque se efectúa mediante un pedal, mientras que en los de mayor cilindrada (como éste) existe un motor de arranque eléctrico accionado por una batería de a bordo. El sillín está previsto para llevar un segundo pasajero y permitir al conductor inclinarse hacia delante para disminuir la resistencia frontal del aire, que es el gran obstáculo que se opone a la velocidad de la motocicleta. Muchas soluciones mecánicas, así como el consumo, son similares a las de los automóviles. En los tres detalles circulares vemos: arriba, la transmisión del eje a la rueda, con un par cónico hipoidal que sustituye a la antigua cadena. Abajo, a la izquierda, detalle del muelle y del amortiguador de la suspensión delantera. A la derecha, el motor de arranque, sección de los émbolos, de los cilindros, de las válvulas y las bujías que actúan mediante un encendido electrónico.



En épocas recientes han nacido muchas variantes de la versión clásica de la motocicleta. Bajo estas líneas vemos el ciclomotor. Aparecido después de la II Guerra Mundial como aplicación de un pequeño motor auxiliar a una bicicleta normal de turismo, se ha desarrollado seguidamente bajo una forma más racional, más potente y más compacta. A la izquierda vemos un *scooter*, vehículo que ha tenido mucho éxito y que nació como copia de las pequeñas motos plegables que utilizan los paracaidistas o que facilitaban los traslados individuales en los aeropuertos. Arriba vemos el "monstruoso" perfil de un vehículo de alta velocidad.



Los productores europeos —especialmente los británicos— y norteamericanos fueron sorprendidos por la popularidad de las máquinas japonesas, que en breve tiempo introdujeron cambios en el aspecto y proyecto básico de las motocicletas.

La comodidad Hoy en día, con la variedad de accesorios disponibles, viajar en motocicleta no dista tanto de hacerlo en automóvil en lo que se refiere a la seguridad y fiabilidad, mientras que lo supera decididamente en economía de utilización. Parabrisas montados en el manillar y carenados frontales aumentan la velocidad, disminuyen el consumo y protegen al motorista de polvo, viento y lluvia. Las maletas laterales no sólo ofrecen espacio para el equipaje sino también una mayor protección. El casco protege al motorista en caso de caídas y golpes, así como de las inclemencias atmosféricas. Los motores son muy fiables y silenciosos.

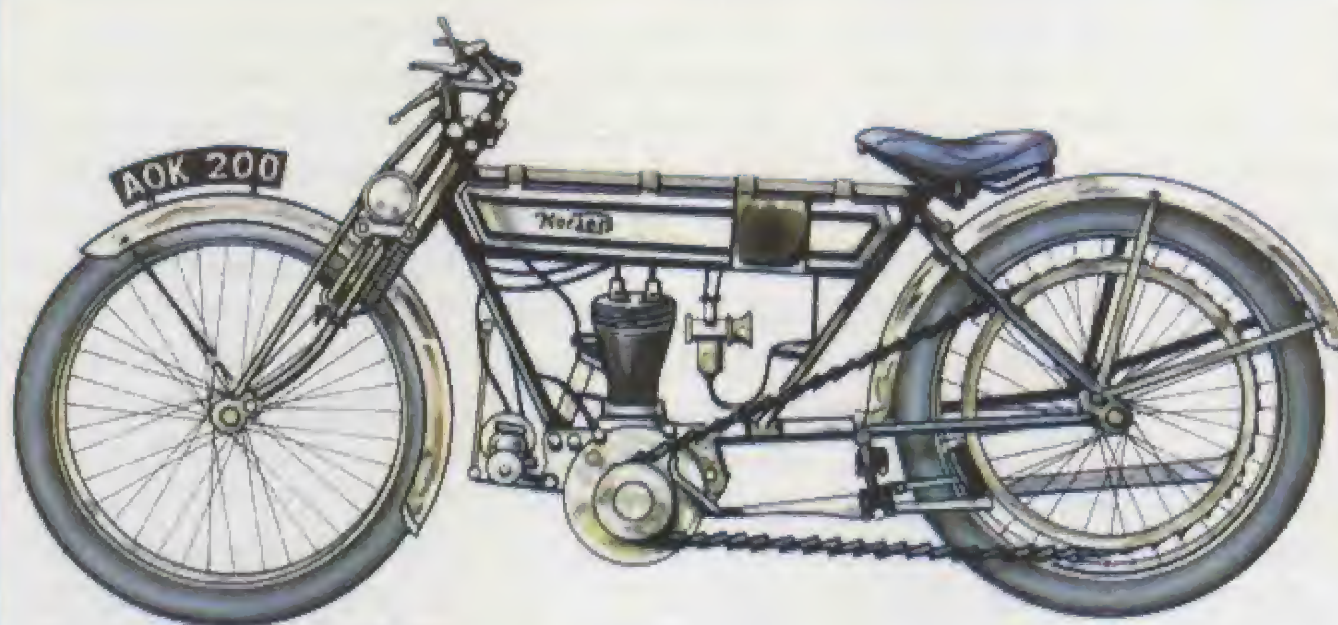
Tipos Otra subdivisión es la que se efectúa según sea la cilindrada del motor. Los ciclomotores disponen de un motor de hasta 50 cc; generalmente sus ruedas son estrechas; la transmisión, por cadena; pueden disponer de cambio automático y el bastidor es abierto, sin ningún elemento mecánico entre sillín y manillar, de forma que cualquiera puede subir sin dificultad. Los ciclomotores sólo pueden llevar al conductor. Hasta los 150 cc, las motocicletas están consideradas como de tipo ligero; hasta los 250 cc, de tipo medio; las restantes están consideradas como de tipo pesado o de gran cilindrada. Estas últimas han tenido un gran desarrollo, so-

bre todo gracias a los fabricantes japoneses que han aumentado gradualmente la cilindrada y por lo tanto la potencia y las prestaciones.

Estructura La estructura de las motocicletas es fundamentalmente análoga en los diferentes tipos. Está compuesta por un bastidor de tubos soldados, que tiene la función de sostener los órganos mecánicos, las suspensiones y el asiento para los pasajeros. En la parte inferior, entre las dos ruedas, está colocado el motor, que transmite la potencia a la rueda motriz posterior mediante una cadena o bien un árbol cardánico de transmisión. La suspensión posterior está constituida por una horquilla que gira alrededor de un eje situado detrás del motor y que cerca de su extremidad opuesta está conectada a la parte superior y posterior del bastidor mediante dos conjuntos muelle-amortiguador. La horquilla, en cuya parte posterior se fija el eje de la rueda trasera, puede oscilar en sentido vertical para absorber, adaptarse y amortiguar los baches. En la parte superior delantera del bastidor hay un tramo de tubo de mayor diámetro, dispuesto verticalmente, en el cual puede girar hacia la derecha o la izquierda la parte superior de la horquilla "telescópica". Esta en su parte inferior lleva la rueda delantera mientras que en su parte superior está conectada con el manillar para la conducción. Completan los grupos mecánicos una instalación de frenado compuesta por dos frenos de tambor o de disco, uno en cada rueda. En las motos de elevadas prestaciones se monta a veces un doble sistema de frenado de disco en la rueda delantera.

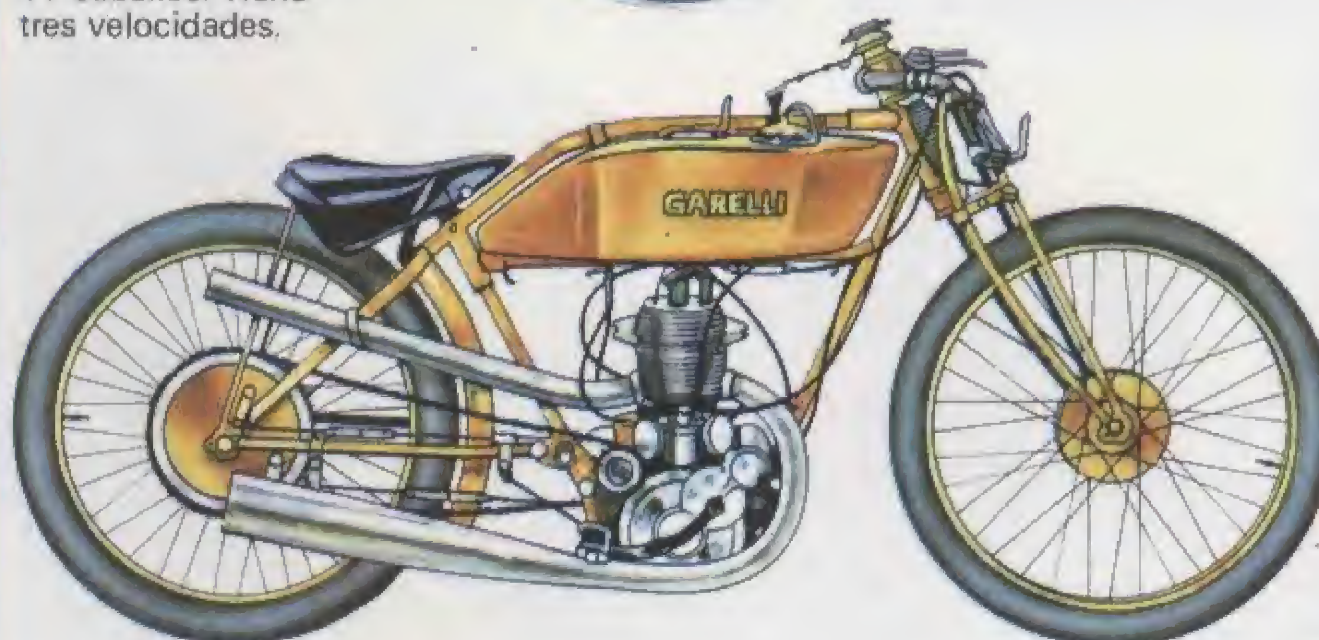
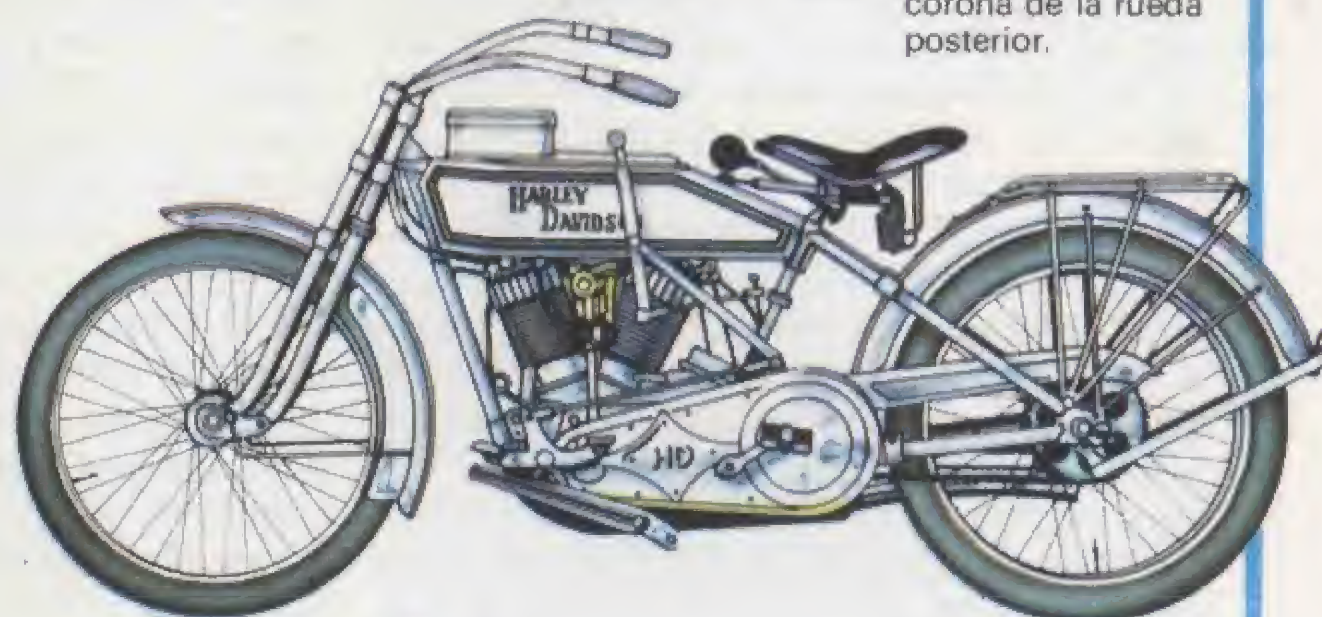
Scooter El scooter es un tipo particular de motocicleta que tuvo un gran desarrollo después de la II Guerra Mundial. En su construcción es diferente de las motocicletas. El bastidor es monocasco; es decir, está formado por chapas embutidas y soldadas entre sí. Tiene una configuración de tipo abierto que permite al conductor apoyar los pies sobre un piso que en su parte anterior sube formando una protección para las piernas.

Las ruedas son de diámetro pequeño, lo que permite llevar a bordo una rueda de repuesto. En el scooter, tanto la horquilla anterior como la posterior están dotadas de un solo brazo y las ruedas van montadas (cada una al cubo) con cuatro tornillos como en los automóviles, facilitando así su sustitución. El motor es de cilindrada limitada (no suele pasar de los 250 cc), generalmente es de dos tiempos y de transmisión directa. Se evita de esta forma la utilización de la cadena o del árbol de transmisión.



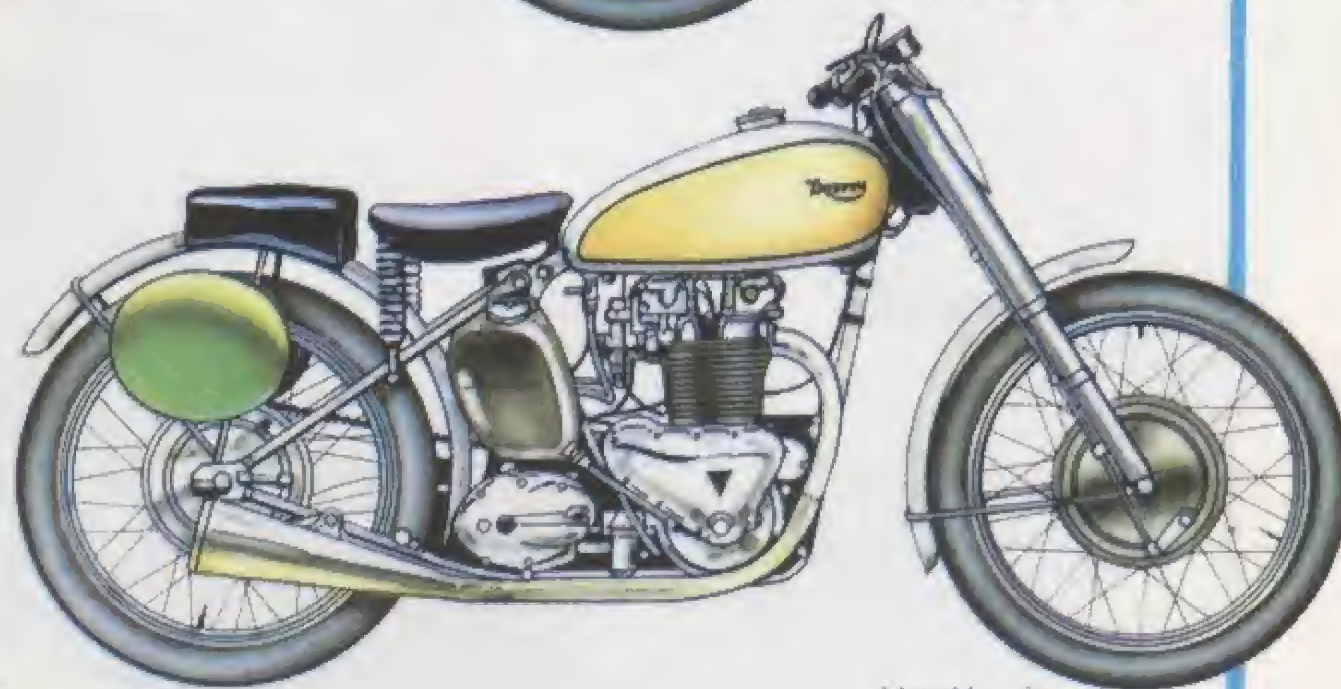
Una de las motos que hicieron época: la Norton "Oldmiracle" de 1912. El motor es de 490 cc; el bastidor es el de una bicicleta; la potencia es reducida; el motor, muy poco revolucionado, y la velocidad, poco elevada, como puede comprenderse por la gran reducción de la corona de la rueda posterior.

En 1915, en EE UU, la firma Harley Davidson propuso ya un modelo de la prepotente cilindrada de 999 cc. El motor, según la tradición de la casa, es un bicilindro en V; el manillar permite al conductor mantener el cuerpo en posición vertical. La potencia, sin embargo, es todavía muy reducida: 11 caballos. Tiene tres velocidades.



Garelli de carreras de 1924, con un motor de dos cilindros de sólo 348 cc que daba una potencia de 20 CV. Esta era un récord en aquella época, aunque muy pequeña si la comparamos con las potencias actuales. El cambio es de tres velocidades y pesa 100 kilogramos.

La Triumph Grand Prix de 1947 dispone de un motor de dos cilindros de 500 cc y de un cambio de cuatro velocidades. La división de la cilindrada en dos o más cilindros favorece la regularidad de la marcha del motor a bajo régimen. El diseño del bastidor es ya bastante parecido a los actuales, el manillar es de competición.



Versión de una motocicleta moderna, la BMW R 90 S de 1975; dispone de un motor bicilindrico de cuatro tiempos de 898 cc de cilindrada que suministra 67 CV, con un peso en vacío de 215 kg. La velocidad máxima es superior a los 200 km/h, la transmisión, con árbol cardánico; los cilindros son opuestos en horizontal y la rueda anterior tiene freno de disco.

Motor de combustión interna

El motor de combustión interna es una máquina destinada a transformar la energía calorífica en trabajo. La combustión tiene lugar en el cilindro mismo de la máquina, lo que permite un mayor rendimiento en la transformación.

Calor y trabajo Las moléculas de un gas están en continuo movimiento, chocando entre sí y contra las paredes del recipiente que las contiene. La energía térmica de un gas está asociada al movimiento de sus partículas y es igual a la suma de las energías cinéticas de éstas. Cuanto mayor sea la temperatura de un gas, tanto mayor será la velocidad y, por tanto, la energía cinética de sus moléculas; el gas tenderá a expandirse más, aumentando el número de choques y, en consecuencia, la presión sobre las paredes que delimitan su volumen.

En Mecánica, el trabajo se define como el producto escalar de una fuerza por el desplazamiento vectorial que experimenta el cuerpo sobre el que ésta actúa. Una persona realiza un trabajo cuando levanta o arrastra un peso; una máquina cumple un trabajo cuando mueve un vehículo a lo

largo de cierta distancia. En un motor de combustión interna, el combustible —generalmente una mezcla de aire con un producto derivado del petróleo— es quemado a gran velocidad en una cámara de combustión situada en la parte superior de un cilindro. El número de cilindros puede variar de un motor a otro, y aunque éste oscila entre uno y doce, a veces es mayor. La rápida combustión produce gases a alta temperatura que se expanden y empujan hacia abajo una pieza metálica, llamada *pistón* o *émbolo*, que se encuentra situada en el interior del cilindro. Un sistema articulado de bielas utiliza el impulso comunicado al émbolo por la expansión de los gases para poner en rotación el cigüeñal. La rotación de éste es a su vez utilizada para generar otro trabajo, como, por ejemplo, hacer girar las ruedas del automóvil.

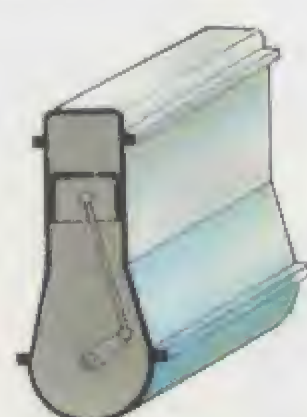
Para obtener un funcionamiento continuo, el émbolo debe volver a su posición inicial en la parte superior del cilindro. Para ello los gases residuales de la combustión deben ser expulsados, y la mezcla de aire fresco y combustible, introducida nuevamente en el cilindro. En resu-

men, deben repetirse unos ciclos constituidos por una serie de fases en el curso de las cuales el motor vuelve a su posición inicial.

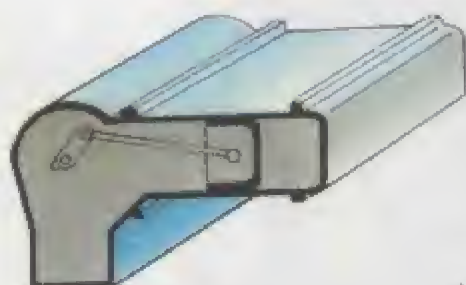
Ciclos Los émbolos están conectados mediante un sistema de bielas al cigüeñal, formado a su vez por una serie de segmentos en U que transforman el movimiento alternativo de los pistones en un movimiento rotatorio continuo. Cuando el émbolo alcanza la extremidad inferior del cilindro, y la biela se encuentra completamente abajo, el cigüeñal retira nuevamente el émbolo hacia la parte alta del cilindro.

En la culata o zona superior del cilindro hay dos válvulas (dispositivos que, sincronizadamente, abren o cierran el paso por un conducto): una, la válvula *de escape*, deja salir los gases residuales de la combustión, que anteriormente han inducido al descenso del émbolo; la otra válvula, llamada *de aspiración*, permite la entrada en el cilindro de la nueva mezcla aire-combustible.

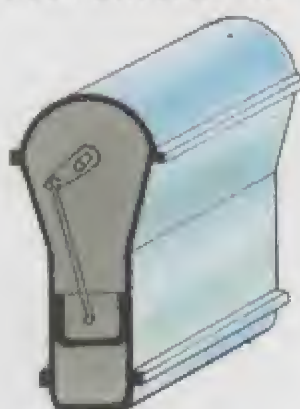
En los motores corrientes de gasolina el combustible es introducido previamente-



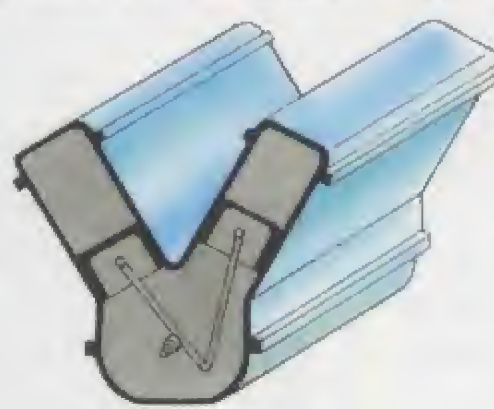
verticales en línea



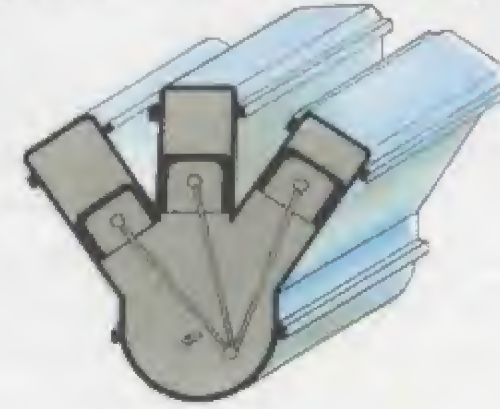
horizontales en línea



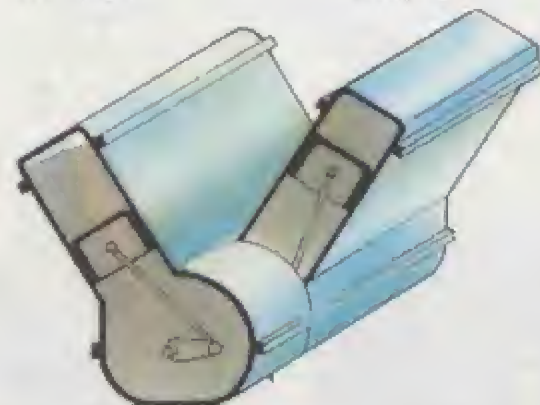
invertidos en línea



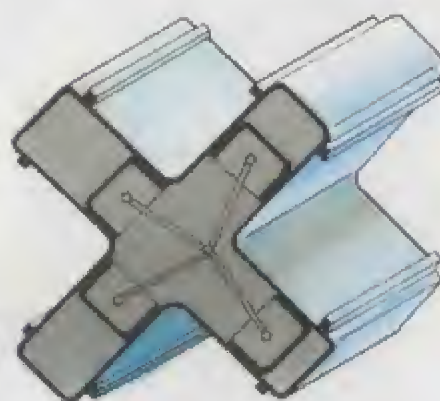
en V simple en línea



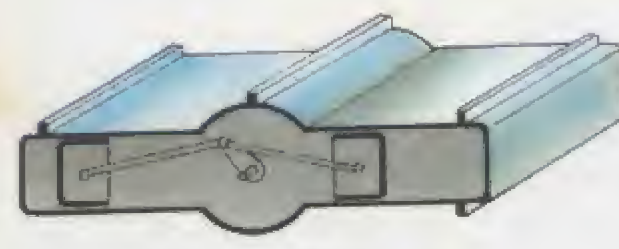
en doble V



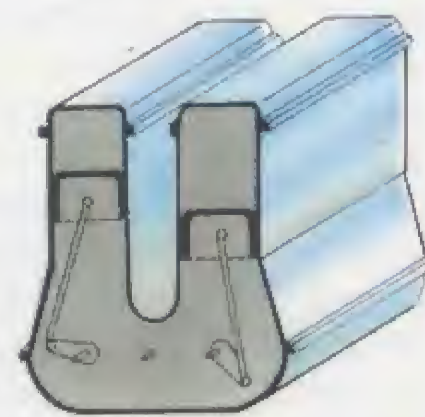
en V graduables



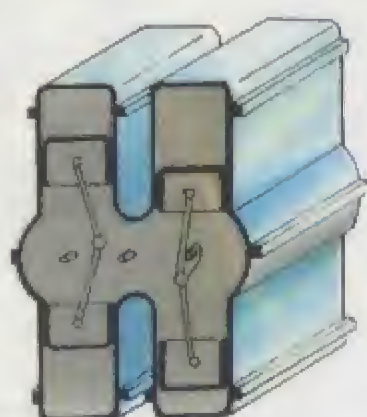
en X



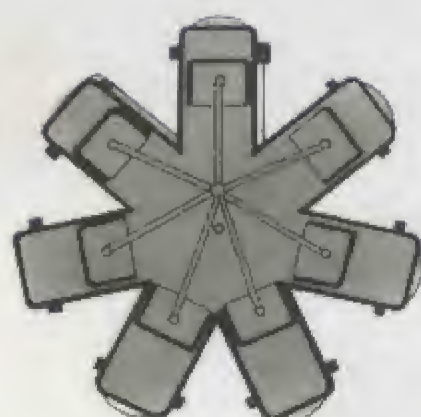
contrapuestos



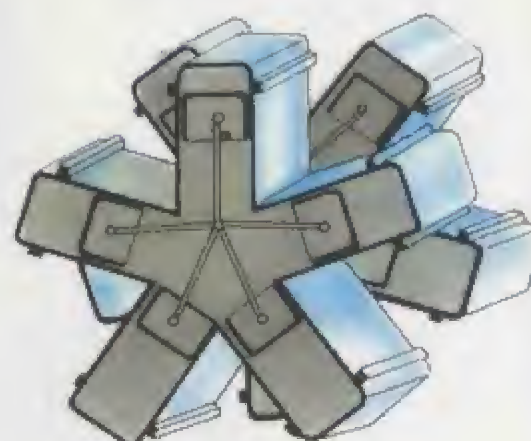
en U



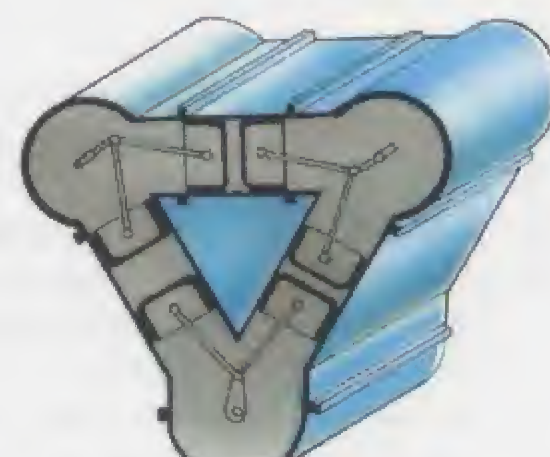
en H



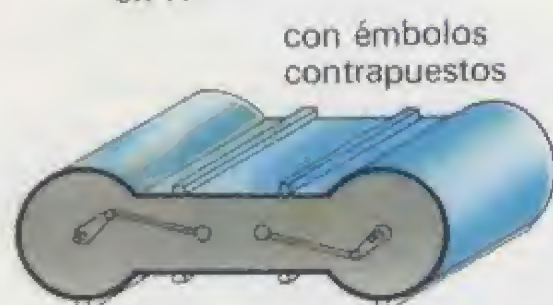
en estrella simple



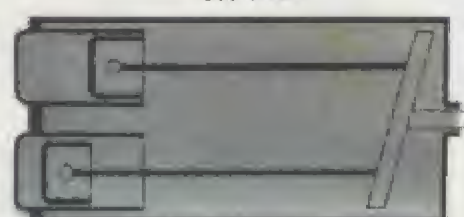
en doble estrella



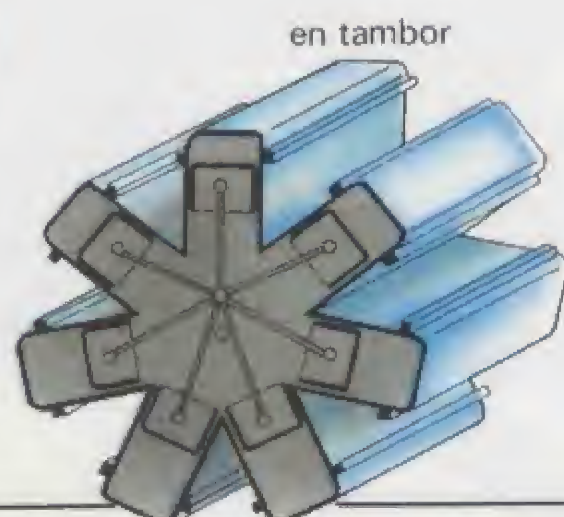
en forma de polígono



con émbolos contrapuestos



en haz

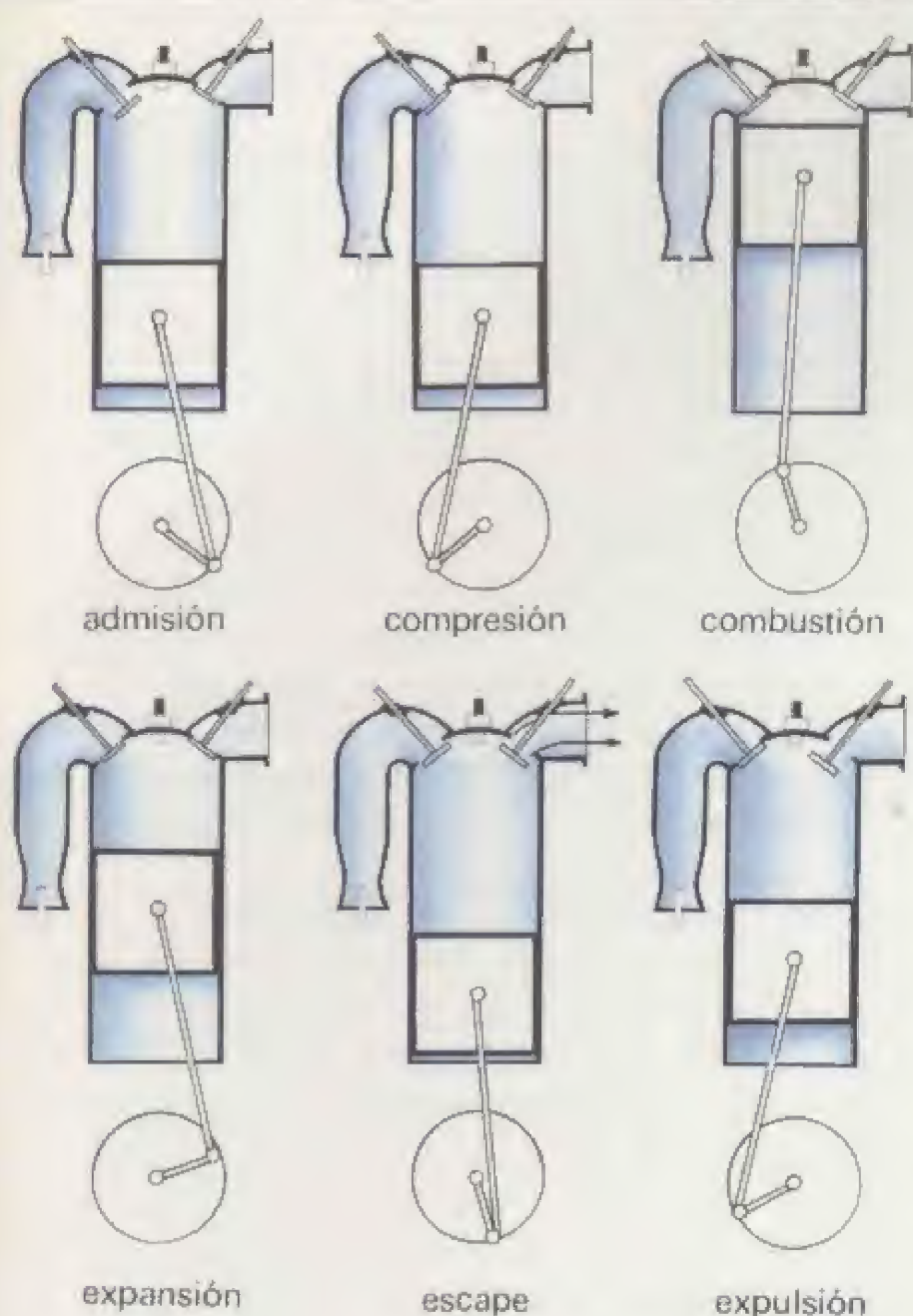


en tambor

Los cilindros de un motor pueden estar dispuestos de las formas más dispares, siempre en relación con su número y con las dimensiones del vehículo que deban impulsar. Esta tabla muestra algunas de

las disposiciones más típicas. En el motor de los automóviles están dispuestos generalmente en línea, en V o contrapuestos. En los motores utilizados en los comienzos de la

aviación, los cilindros estaban dispuestos en estrella sencilla o doble, mientras que en la actualidad están en línea o se hallan contrapuestos. Disposiciones menos comunes son: en H, en haz o en polígono.



to, cuatro tiempos. En el primero, llamado *fase de aspiración*, el émbolo se desplaza desde la extremidad superior a la inferior del cilindro, mientras que la mezcla de aire y de combustible es aspirada hacia el interior de éste a través de la válvula de admisión, que permanece abierta. En el segundo tiempo, llamado *fase de compresión adiabática*, el émbolo retrocede hacia la extremidad superior del cilindro. Al estar ambas válvulas cerradas, la mezcla combustible encerrada en la recámara es comprimida adiabáticamente. En los motores de gasolina, cuando esta fase finaliza, una chispa que salta entre los polos de las bujías provoca el encendido de la mezcla; en los motores Diesel, la inflamación de la mezcla es provocada por la elevada temperatura interior del cilindro. La explosión que se produce da lugar a un calentamiento y un aumento de presión de los gases, que se expansionan adiabáticamente empujando el émbolo hacia abajo. Esta tercera fase de expansión es llamada *fase de potencia*. Durante la cuarta fase, la *de escape*, el émbolo retrocede a la posición superior del cilindro y expulsa los gases quemados en la combustión

a través de la válvula de escape, que se encuentra abierta. Este ciclo se llama *ciclo de Otto*.

Sin embargo, en un motor de dos tiempos, el ciclo comprende sólo dos carreras del pistón, una hacia arriba y otra hacia abajo. La carrera del pistón hacia abajo es la de potencia, mientras que en la carrera de subida se realizan simultáneamente las fases de escape, aspiración y compresión de la nueva mezcla de combustible.

Algunos motores desarrollados recientemente están dotados de cilindros con forma distinta a la convencional. Uno de estos motores, el de Wankel, tiene un rotor casi triangular que gira en el interior de una cámara de forma parecida a un ocho (trocoidal). La expansión de los gases produce un empuje sobre la superficie del rotor, haciéndolo girar según un recorrido circular durante el cual los vértices permanecen adheridos a la cámara que lo contiene.

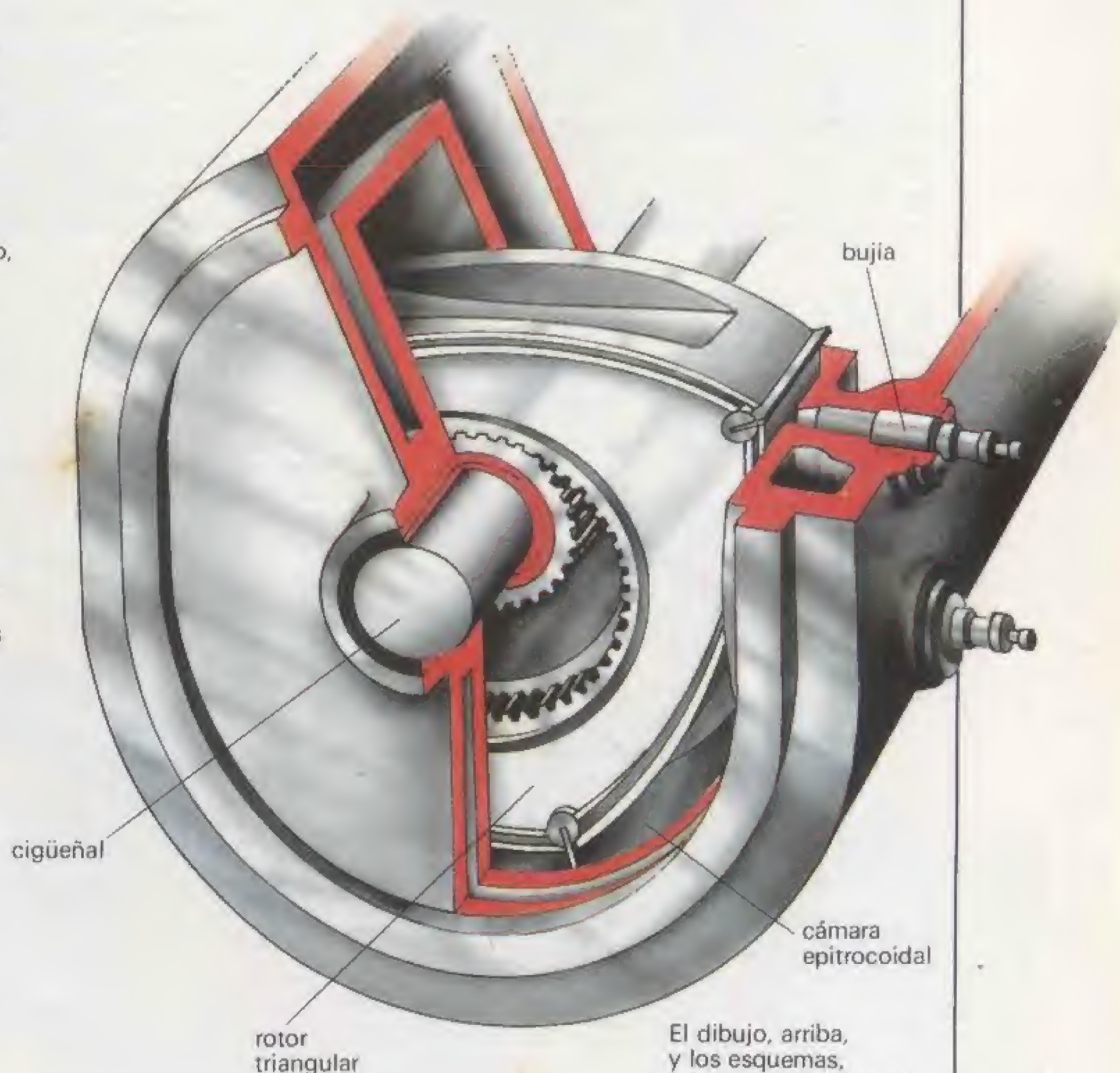
Véase Automóvil, carburación y sistemas de inyección; Motor de Otto; Motor Diesel

te en el carburador, donde tiene lugar la mezcla con el aire, antes de ser introducido en el cilindro. Ya en este último, la mezcla es inflamada por una chispa eléctrica que se induce entre bornes de una bujía de encendido. Sin embargo, en los motores Diesel el combustible es inyectado directamente en el interior del cilindro. Esta técnica de la inyección del combustible se emplea a veces también en los motores de gasolina de algunos automóviles. La combustión es provocada por el calor generado en la compresión del aire durante la carrera de subida del émbolo.

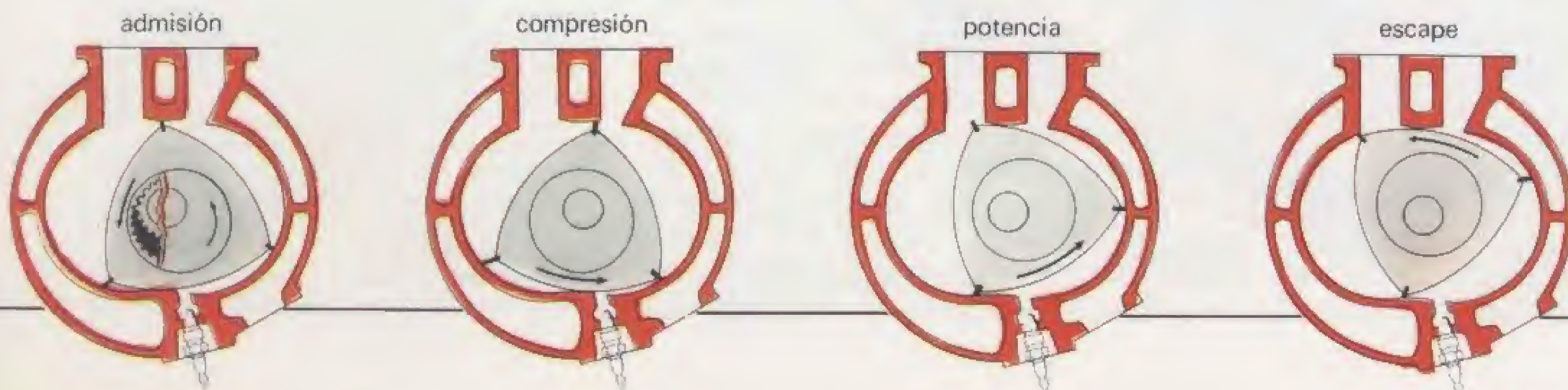
Clasificación de motores de combustión interna Existen distintos criterios para clasificar los motores de combustión interna: según el combustible utilizado, el número y disposición de los cilindros, el tipo y disposición de las válvulas o el sistema de enfriamiento empleado. La clasificación más frecuente está basada en el tipo de ciclo, es decir, en el número de tiempos por ciclo (entendiendo por *tiempo* una carrera hacia arriba o hacia abajo del émbolo a lo largo del cilindro).

Los motores utilizados en los automóviles son generalmente de cuatro tiempos. En cada ciclo de motor, un émbolo recorre dos veces la carrera de subida y dos veces la de bajada; empleando, por lo tan-

Arriba, las fases de funcionamiento de un motor de carburación de cuatro tiempos, el modelo más clásico de los motores de combustión interna. Su ciclo de trabajo corresponde al ciclo termodinámico de Otto, quien fue el primero en idearlo y aplicarlo. Las fases son seis y se realizan en cuatro tiempos según la siguiente sucesión: primer tiempo, admisión; segundo tiempo, compresión; tercer tiempo, combustión y expansión —dos fases—; cuarto tiempo, escape y expulsión de los gases residuales de la combustión —dos fases—.



El dibujo, arriba, y los esquemas, a la izquierda, ilustran respectivamente la estructura y el ciclo de un motor Wankel. Como puede observarse, la cámara de explosión es de forma casi triangular, o, más exactamente, epitrocoidal. El cigüeñal gira tres veces por cada vuelta del motor. Las fases siguen siendo cuatro.



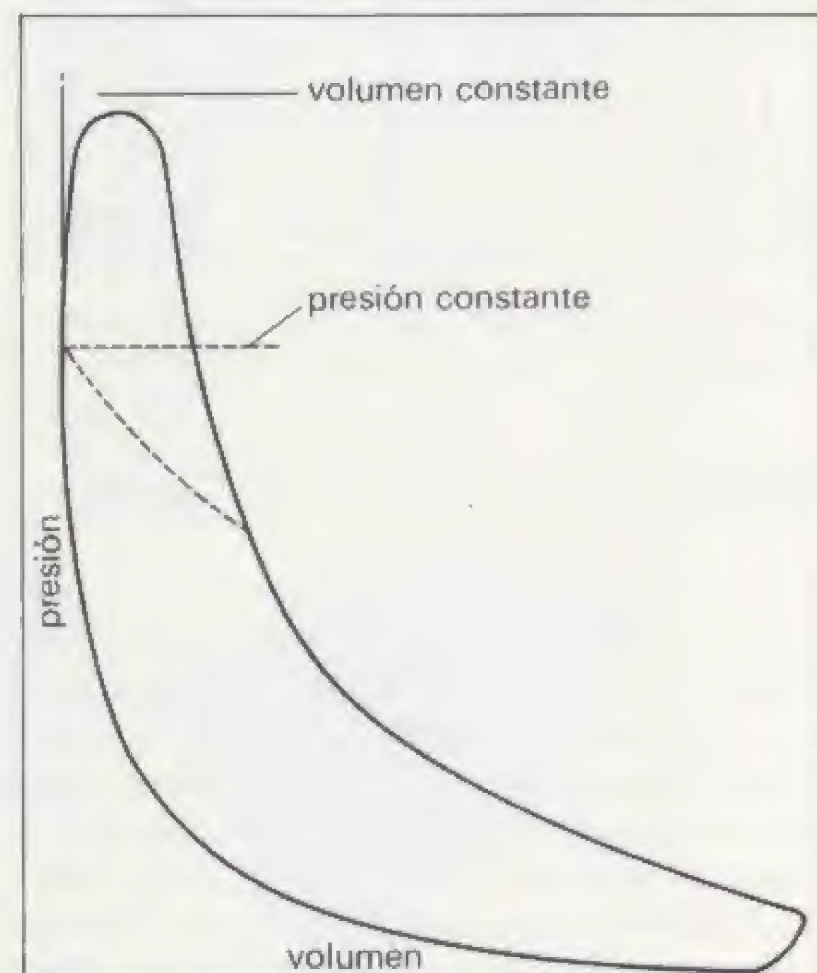
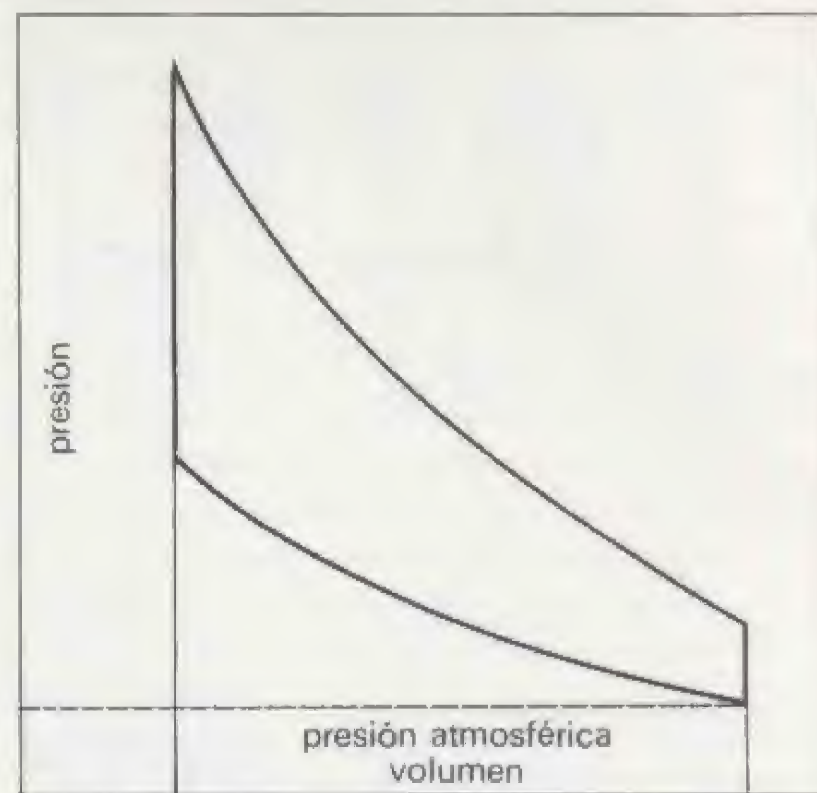
Motor de Otto

Hacia el año 1860 se descubrió que la mezcla de gasolina y aire explotaba al ser encendida. Posteriormente muchos ingenieros dirigieron sus investigaciones con el fin de conseguir accionar un motor basándose en la aplicación de este fenómeno. Nikolaus August Otto no fue el primero en construir un motor que funcionara alimentado con gasolina, ni tampoco el primero en fabricarlo a escala comercial; sin embargo, introdujo una innovación en sus fundamentos termodinámicos —el denominado *ciclo de Otto*— que permitió que el motor proyectado por él fuera superior a todos los demás modelos entonces existentes. Los motores de este tipo, que se proyectan para que funcionen siguiendo ese ciclo, se llaman *motores Otto*.

Los primeros motores de gasolina Los primeros motores de gasolina que funcionaron fueron proyectados siguiendo el mismo esquema de los motores de vapor. En este tipo de motores, el vapor procedente de la caldera se hace expandir en una cámara cilíndrica o *cilindro*. La presión ejercida por la expansión del vapor empuja hacia adelante una pieza metálica, llamada *émbolo*, perfectamente adaptada al cilindro. El vapor pasa de la caldera al cilindro a través de la válvula de admisión. Ya en el cilindro, el vapor se expande y oprime el émbolo, originando su descenso. Cuando éste se acerca a la parte inferior del cilindro, la válvula de admisión se cierra, y la entrada de vapor se detiene. Abriendo la válvula de evacuación el

vapor contenido en el cilindro es expulsado, y el émbolo retrocede a su posición original en la parte superior del cilindro. De esta forma, el proceso puede repetirse nuevamente. Se dice que este tipo de motor funciona siguiendo ciclos. Un *ciclo* consiste en una sucesión de estados termodinámicos inducidos por el movimiento, al finalizar los cuales, las partes mecánicas del motor retornan a su posición inicial, listas para iniciar otro ciclo. Se dice que un motor de vapor tiene un ciclo de dos fases, siendo una fase el movimiento ascendente del émbolo a lo largo del cilindro, y la otra, el movimiento inverso.

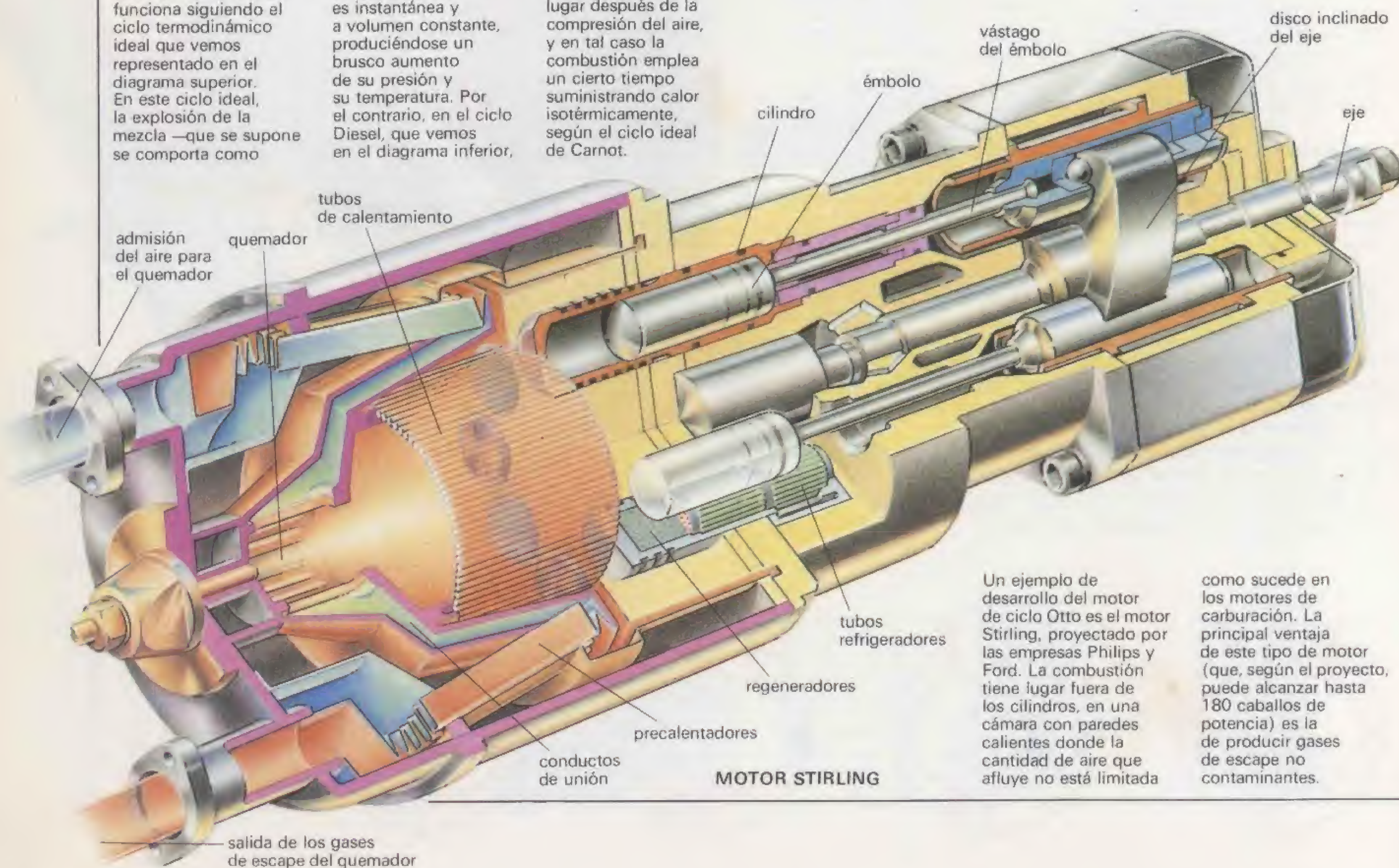
Como ya se ha señalado, las primeras versiones de motores de gasolina fueron proyectadas siguiendo el mismo principio que impulsaba los motores de vapor. Una mezcla de gasolina y aire, llamada *carga*, se introducía en el cilindro a través de la válvula de admisión situada en su parte superior y, una vez allí, era encendida. La expansión de los gases liberados durante la explosión obligaba al émbolo a desplazarse hacia abajo, a lo largo del cilindro. Cuando el émbolo volvía a subir, expulsaba del cilindro los gases residuales de la combustión a través de una válvula, llamada *de escape* o *de evacuación*. El movimiento alternativo del émbolo se transmite a un eje de rotación o *cigüeñal* a través de una barra de transmisión o *biela* y de un manubrio. El extremo del vástago del émbolo se une con la biela. Esta se encuentra articulada directamente con un manubrio que actúa sobre el cigüeñal, for-



El motor de ciclo Otto funciona siguiendo el ciclo termodinámico ideal que vemos representado en el diagrama superior. En este ciclo ideal, la explosión de la mezcla —que se supone se comporta como

un gas perfecto— es instantánea y a volumen constante, produciéndose un brusco aumento de su presión y su temperatura. Por el contrario, en el ciclo Diesel, que vemos en el diagrama inferior,

el encendido tiene lugar después de la compresión del aire, y en tal caso la combustión emplea un cierto tiempo suministrando calor isotérmicamente, según el ciclo ideal de Carnot.



Un ejemplo de desarrollo del motor de ciclo Otto es el motor Stirling, proyectado por las empresas Philips y Ford. La combustión tiene lugar fuera de los cilindros, en una cámara con paredes calientes donde la cantidad de aire que afluye no está limitada

como sucede en los motores de carburación. La principal ventaja de este tipo de motor (que, según el proyecto, puede alcanzar hasta 180 caballos de potencia) es la de producir gases de escape no contaminantes.

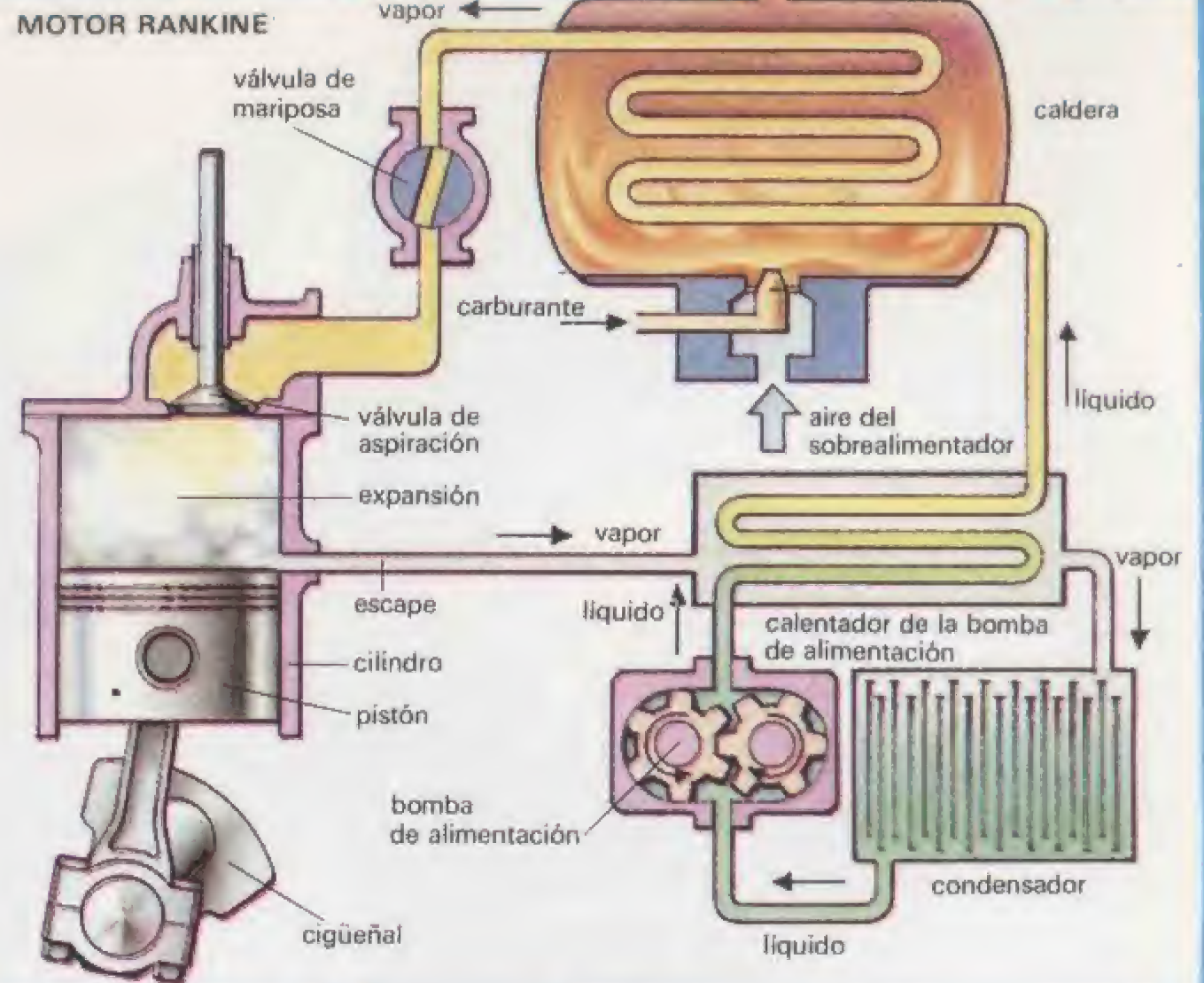
MOTOR STIRLING

mado por distintas secciones en forma de V, comunicándole el movimiento de rotación.

Sin embargo, estos motores suministraban poca potencia. La carga inicial tenía que ser introducida en el cilindro, encendida y los gases liberados durante su expansión debían empujar el émbolo, todo en una misma fase. Si el encendido se efectuaba rápidamente, no daba tiempo para introducir una carga lo suficientemente grande y, en consecuencia, la expansión producida por el menor volumen de carga desplazaba poco el émbolo, haciendo que la carrera descendente de éste, debida estrictamente a la explosión de la mezcla, fuese corta y, por lo tanto, de poca potencia.

El ciclo Otto Otto advirtió estas deficiencias y procuró solucionarlas. Se dio cuenta de que el rendimiento del motor sería mucho mayor si se inyectaba una carga completa en el cilindro justamente antes del inicio de la fase de encendido, de forma que los gases pudiesen ejercer su presión durante toda la carrera descendente del émbolo. Con este fin, Otto decidió construir un motor con un ciclo de cuatro fases. El émbolo y las válvulas, así como los mecanismos necesarios para que éstas se abrieran y cerraran en el momento prefijado, retornarían a sus posiciones iniciales solamente después de que el émbolo hubiese cumplido dos carreras descendentes y dos ascendentes a lo largo del cilindro.

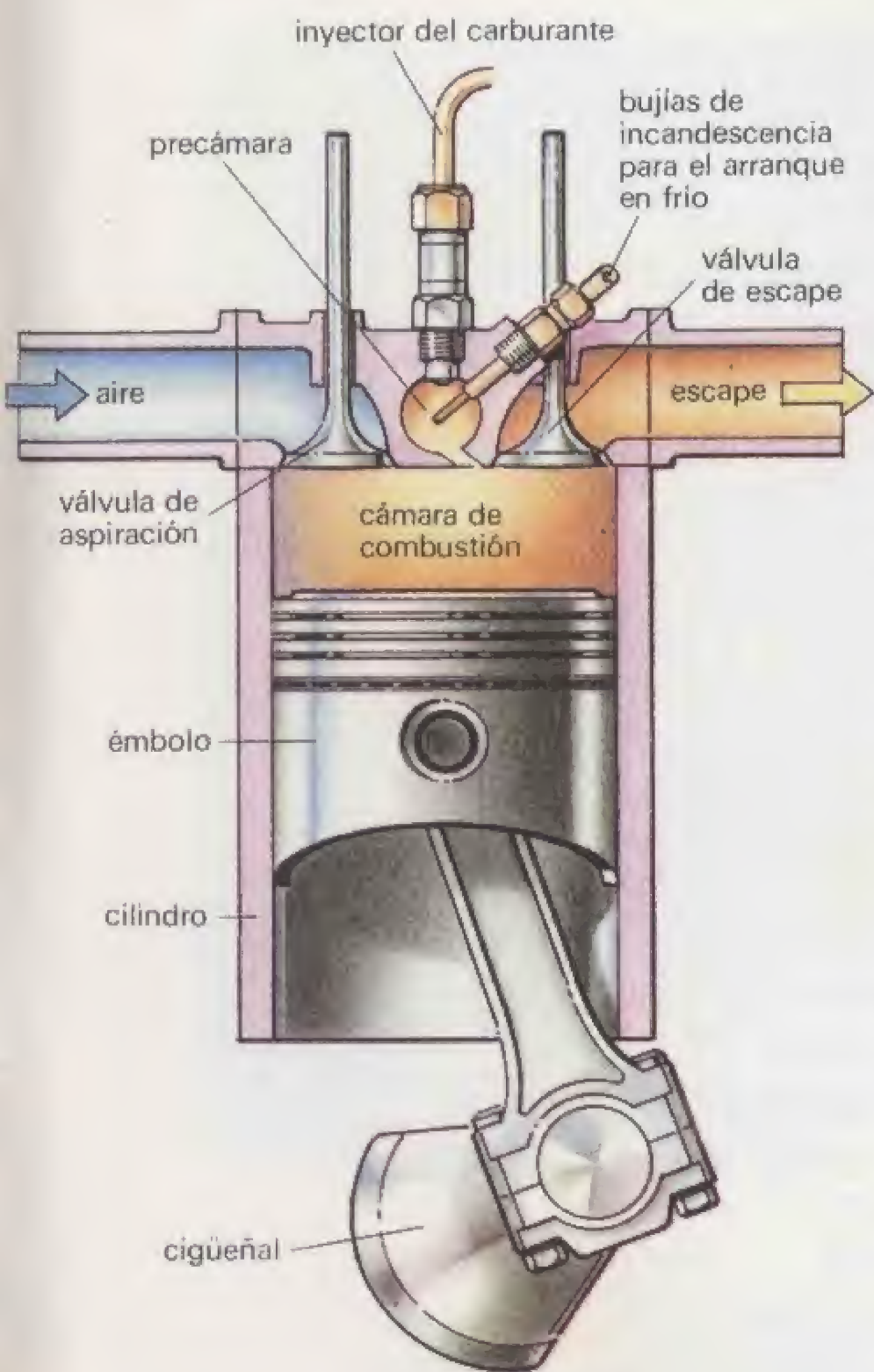
Una variante del motor de ciclo Otto accionada por vapor la constituye el motor Rankine, que transmite a un fluido operativo —agua— el calor obtenido por la combustión de un carburante. El agua, sobrecalentada en una caldera, es sometida a un proceso de evaporación y luego a una expansión en un cilindro dotado de émbolo. La presión ejercida por la expansión empuja dicho émbolo y genera la potencia. El vapor es recuperado y enviado a un condensador que lo vuelve a transformar en agua. Mediante una bomba de recuperación, el agua es reintegrada al circuito.



El motor ideado por Otto funciona de la siguiente forma: en la primera fase, llamada *fase de admisión*, la carga es aspirada hacia el interior de la cámara, provocando el descenso del émbolo a lo largo del cilindro. Durante esta fase la válvula de admisión permanece abierta, y la de escape, cerrada. La *fase de compresión* se inicia cuando el émbolo empieza a desplazarse nuevamente hacia arriba. Durante esta fase, tanto la válvula de admisión como la de escape permanecen cerradas, de forma que la carga es comprimida adiabáticamente hasta que su volumen se hace muy pequeño. Cuando toda la carga

ciosamente con respecto a los demás modelos de la época, que fue llamado *Otto silencioso*. El motor de Otto era muy superior al resto de los motores de gasolina de ciclo bifásico ya existentes, y pronto dominó el mercado. Desde entonces han sido mejorados el combustible, el encendido, las válvulas y todo el sistema de construcción. Sin embargo, la secuencia de fases introducida por Otto es todavía la base de la mayoría de los modernos motores de gasolina, que siguen siendo llamados en su honor *motores Otto*.

Véase **Motor de combustión interna**

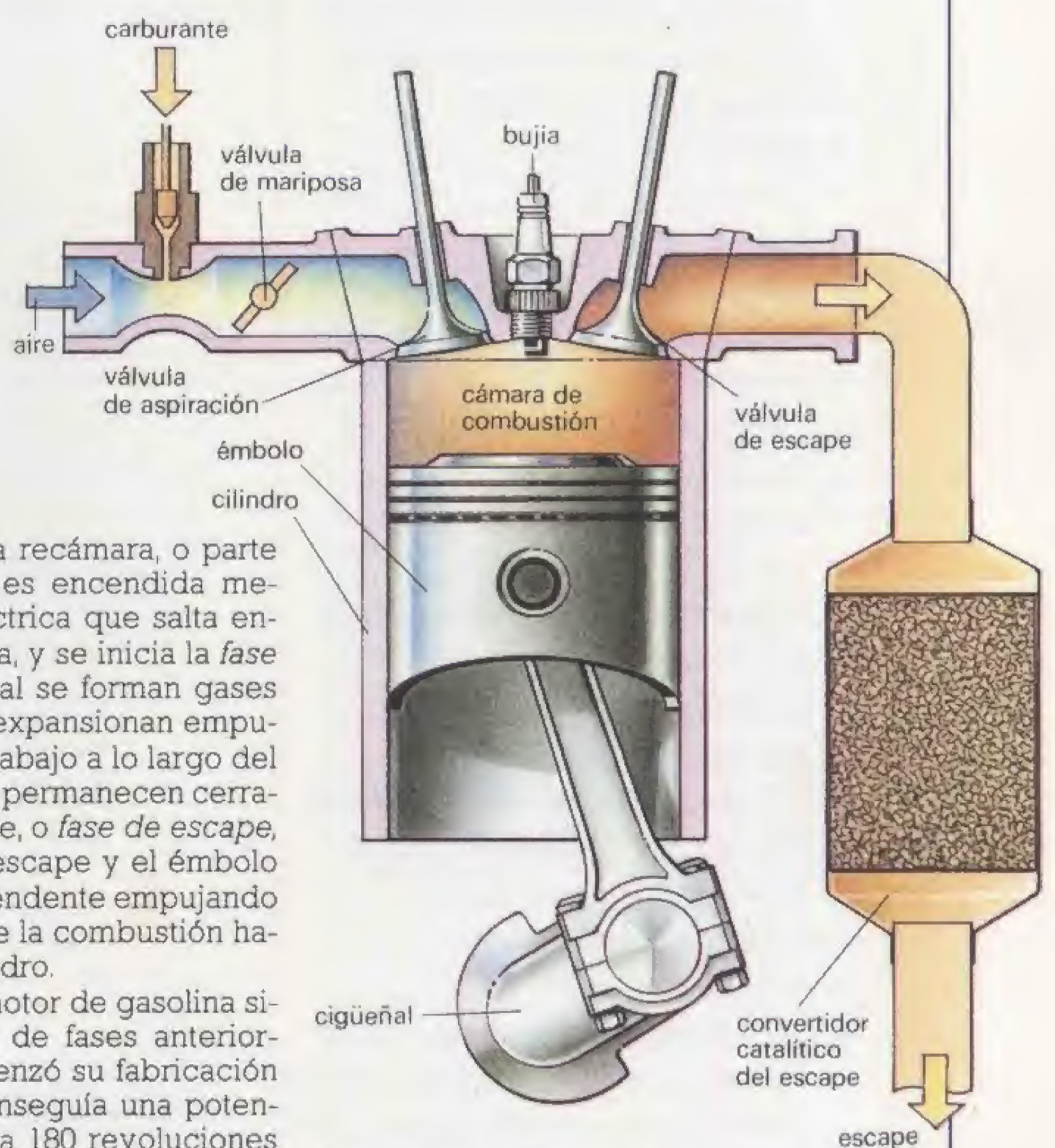


MOTOR DIESEL

En los dibujos se muestran las diferencias en los procesos de encendido y combustión entre un motor de ciclo Otto y uno de ciclo Diesel. En el primero, una bujía provoca el encendido de la mezcla de carburante y aire. En el segundo, el encendido de la mezcla se produce por el calor generado durante la fuerte compresión del aire.

queda encerrada en la recámara, o parte superior del cilindro, es encendida mediante una chispa eléctrica que salta entre los polos de la bujía, y se inicia la *fase de explosión*, en la cual se forman gases muy calientes que se expansionan empujando el émbolo hacia abajo a lo largo del cilindro. Estas válvulas permanecen cerradas. En la fase siguiente, o *fase de escape*, se abre la válvula de escape y el émbolo reinicia su carrera ascendente empujando los gases residuales de la combustión hacia el exterior del cilindro.

Otto construyó un motor de gasolina siguiendo la secuencia de fases anteriormente descrita y comenzó su fabricación a escala industrial. Conseguía una potencia de 3 CV y giraba a 180 revoluciones por minuto. Funcionaba además tan silen-



MOTOR DE CICLO OTTO

Indice

Volumen IX

- Mapas y proyecciones, 1942
- Máquina de coser, 1944
- Máquina de enarenar, 1946
- Máquina de escribir, 1948
- Máquina de vapor, 1950
- Maquinaria agrícola, 1952
- Mar, 1956
- Marcapasos, 1962
- Mareas, 1964
- Margarina, 1966
- Marsupiales, 1968
- Marte, 1970
- Martillo neumático, 1974
- Masa, 1976
- Masa crítica, 1978
- Máscara antigás, 1980
- Matemática, 1982
- Materia, 1988
- Materia, estados y cambios de estado, 1994
- Materia hiperdensa, 2000
- Materia viva, 2002
- Matrices, 2008
- Mecánica, 2012
- Mecánica celeste, 2016
- Mecánica cuántica, 2020
- Medicina, 2026
- Medicina alternativa, 2034
- Medicina deportiva, 2036
- Medicina interna, 2038
- Medicina laboral, 2040
- Medicina legal, 2042
- Medicina preventiva, 2044
- Medidas, 2046
- Memoria, 2048
- Menstruación, 2050
- Mercurio (elemento), 2052
- Mercurio (planeta), 2054
- Mesozoica, era, 2056
- Metabolismo, 2058
- Metales, 2062
- Metales, detector de, 2066
- Metales, trabajo de los, 2068
- Metales alcalinotérreos, 2070
- Metales nobles, 2072
- Metalocerámica, 2074
- Metalurgia, 2076
- Metamorfosis, 2080
- Metano, 2082
- Meteoritos, 2084
- Meteorología, instrumentos, 2086
- Meteorología, predicción, 2088
- Método axiomático, 2090
- Microanálisis, 2092
- Microfilme, 2094
- Micrófono, 2096
- Micromanipulación, 2098
- Microondas, 2100
- Microondas, horno de, 2102
- Microordenador, 2104
- Microscopio, 2106
- Microscopio electrónico, 2110
- Miel, 2112
- Migraciones animales, 2114
- Mimetismo animal, 2118
- Mina naval, 2120
- Minerales, 2122
- Minería y técnicas mineras, 2126
- Miniaturización, 2130
- Miniordenador, 2132
- Misil, 2134
- Mobiliario, 2138
- Modelismo naval, 2140
- Modelo matemático, 2142
- Mohos, 2144
- Molécula, 2146
- Molécula compleja, 2152
- Moléculas espaciales, 2156
- Moluscos, 2158
- Monedas, acuñación, 2160
- Mononucleosis infecciosa, 2162
- Monorraíl, 2164
- Montaje cinematográfico, 2166
- Montaje en cadena, 2168
- Montaña, 2170
- Mortero, 2174
- Motocicleta, 2176
- Motor de combustión interna, 2180
- Motor de Otto, 2182



